



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA DE ESTUDIO PARA
MÁQUINAS DE ANESTESIA
Y MONITORES DE SIGNOS VITALES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA

PRESENTA:
**ANA VICTORIA GABRIELA FERNANDA
SÁNCHEZ CEDILLO**

DIRECTOR DE TESIS:
M.I. Juan Manuel Gómez González



CIUDAD UNIVERSITARIA

2014

AGRADECIMIENTOS

A MI FAMILIA

En especial a mi hermana y a mi mamá, quienes han sido mis mejores amigas y mi soporte durante toda mi vida. Se dice que la familia no se escoge, pero sin duda yo volvería a escogerlos a todos ellos.

A LA UNAM

Que representa uno de los lugares más especiales y maravillosos para mí, con el cual soñé desde niña y del que tuve el honor de pertenecer.

AL M.I. JUAN MANUEL GÓMEZ GONZÁLEZ

Por brindarme su ayuda cuando no sabía qué hacer después de terminar la carrera. Me guió en el camino que me llevó a realizar mi tesis y a encontrar mi vocación.

AL INSTITUTO NACIONAL DE NEUROLOGÍA Y NEUROCIRUGÍA

En especial a todo el personal del Departamento de Bioingeniería Hospitalaria, por haberme recibido con los brazos abiertos y brindarme su conocimiento.

Y A VALERIA VALENTINA ARTEAGA SÁNCHEZ

Este trabajo queda totalmente dedicado a mi sobrina, quien ha llenado nuestras vidas con una nueva y resplandeciente luz.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	I
Objetivos	I
Justificación del tema	I
CÁPITULO I.- INGENIERÍA BIOMÉDICA EN HOSPITALES	1
Introducción	1
I.1.- Ingeniería Biomédica	1
I.1.1.- Ingeniería Clínica	1
I.2.- Dispositivo médico	2
I.2.1.-Equipo médico	2
I.3.- CENETEC	2
I.3.1.- Dirección de Ingeniería Biomédica	2
I.4.- COFEPRIS	2
I.4.1.- Comisión de Autorización Sanitaria	2
I.4.2.- Registros Sanitarios de Dispositivos Médicos	3
I.4.3.- Clasificación de dispositivos médicos con base a su nivel de riesgo sanitario	3
I.5.- Normas Oficiales Mexicanas	4
I.5.1.- NOM-006-SSA3-2011	4
I.5.2.- NOM-137-SSA1-2008	5
I.5.3.- NOM-016-SSA3-2012	5
I.5.4.- NOM-240-SSA1-2012	6
CÁPITULO II.- ANESTESIA	
Introducción	8
II.1.- Etapas de la Anestesia	8
II.1.1.- Etapa Preanestésica	8
II.1.2.- Etapa Transanestésica	8
II.1.3.- Etapa Postanestésica	8
II.2.- Tipos de anestesia	8
II.2.1.- Anestesia General	9
II.2.2.- Anestesia Regional	9
II.2.3.- Anestesia Local	9
II.2.4.- Anestesia General Balanceada	9
CÁPITULO III.- FISIOLÓGÍA INVOLUCRADA EN ANESTESIA	
Introducción	10
III.1.- Sistema Nervioso	10
III.1.1.- Tejido nervioso	10
III.1.2.- Funciones del Sistema Nervioso	11
III.1.3.- Organización del Sistema Nervioso	11
III.2.- Sistema Respiratorio	13
III.2.1.- Anatomía del sistema respiratorio	13
III.2.2.- Mecánica de la respiración	14
III.2.3.- Volúmenes y capacidades pulmonares	17
III.3.- Sistema Circulatorio	18
III.3.1.- La sangre	18
III.3.2.- El corazón	18
III.3.3.- Los vasos sanguíneos	21

CÁPITULO IV.- MÁQUINA DE ANESTESIA Y MONITOR DE SIGNOS VITALES	
Introducción	22
IV.1.- Fisiología y anestesia	22
IV.2.-Máquina de anestesia	22
IV.2.1.- Sistema de control para suministro de gases	24
IV.2.2.- Vaporizadores	25
IV.2.3.- Circuito de ventilación y respiración	28
IV.2.4.- Circuito de paciente	44
IV.2.5.- Gabinete transportable	48
IV.2.6.- Accesorios, consumible y refacciones	48
IV.2.7.- Instalación eléctrica y neumática	48
IV.3.-Monitor de signos vitales	50
IV.3.1.- Electrocardiograma (ECG)	51
IV.3.2.- Presión Arterial No Invasiva (PANI)	56
IV.3.3.- Presión Arterial Invasiva (PAI)	58
IV.3.4.- Temperatura	60
IV.3.5.- Oximetría de pulso (SpO ₂)	61
IV.3.6.- Capnografía (CO ₂)	63
IV.3.7.- Espirometría	64
IV.3.8.- Índice biespectral (BIS)	65
IV.3.9.- Relajación muscular	67
IV.3.10.- Alarmas	69
IV.3.11.- Accesorios, consumibles y refacciones	70
CÁPITULO V.- INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO	
Introducción	71
V.1.- Riesgos relacionados al sistema de anestesia	71
V.1.1.- Riesgos eléctricos	71
V.1.2.- Riesgos mecánicos	71
V.1.3.- Riesgos ambientales	71
V.1.4.- Riesgos biológicos	72
V.1.4.- Riesgos de operación	72
V.2.- Rutinas de Inspección y Mantenimiento	72
V.2.1.- Prueba diaria	72
V.2.2.- Mantenimiento preventivo	73
V.2.2.- Mantenimiento correctivo	78
CONCLUSIONES	II
Tabla de imágenes	III
Bibliografía	V

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo se divide en cinco capítulos, entorno a la máquina de anestesia y el monitor de signos vitales. En ellos se abarcan temas como la normatividad, criterios y clasificaciones; se menciona el concepto de anestesia, así como sus tipos y técnicas de aplicación; se expone un marco teórico de la fisiología implicada en anestesia y en el monitoreo de signos vitales. Para finalmente llegar al capítulo más extenso, el cual, siguiendo las *Cédulas de Especificaciones Técnicas del CENETEC-Salud* se creó un listado de parámetros, características y requisitos con los que debe contar dicho equipo médico, se tiene como principal función mencionar componentes y funcionamientos de los elementos del sistema de anestesia, todo de manera individual para formar un todo y llegar a entender con mayor claridad dicho equipo. Por último, se citan procedimientos recomendados para las rutinas de mantenimiento diario y preventivo del equipo médico, de la *Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia de CENETEC-Salud*.

OBJETIVOS

Realizar una guía teórico-práctica de la máquina de anestesia y el monitor de signos vitales, con el fin de proponer un marco teórico, normativo, tecnológico, estructural e informativo de uno de los equipos médicos con mayor ocurrencia en la práctica clínica y en la que el Ingeniero Biomédico tendrá mayores ocasiones de trabajar dentro de un hospital general, especializado, del sector público, social o privado.

Por lo cual se darán a conocer estructuras, tipos, configuraciones y especificaciones con las que debe contar una máquina de anestesia y el monitor de signos vitales en general; con el fin de brindar a los pacientes: calidad, seguridad y eficiencia para garantizar la protección de su salud.

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El desarrollo de nuevas tecnologías para la atención médica ha logrado avances importantes en la salud de la población, el ascenso en el cuidado de la salud y el uso de equipo médico cada vez más especializado, obliga al Ingeniero Biomédico a estar constantemente actualizando en sus conocimientos. Este documento se plantea como una base de información introductoria de un equipo médico, en este caso, una máquina de anestesia y el monitoreo de signos vitales, el cual le permita tener una noción básica de funcionamientos, usos, estructuras y componentes; además de conocer los principios básicos de operación, manejo y normativas nacionales.

CAPÍTULO I

Ingeniería Biomédica en Hospitales

INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo se expondrán la Ingeniería Biomédica aplicada al servicio clínico, se mencionarán definiciones, se nombrarán algunas Normas Oficiales Mexicanas relacionadas exclusivamente a la máquina de anestesia y al monitoreo de signos vitales, incluida la norma de operación de la Tecnovigilancia, todas de observancia obligatoria en el área de la salud. Se hará referencia a una de las guías tecnológicas de CENETEC-Salud, al igual que la clasificación de riesgo de acuerdo a COFEPRIS.

I.1.- INGENIERÍA BIOMÉDICA

Es la disciplina que aplica principios y métodos de ingeniería, ciencia y tecnología para comprender y resolver problemas de biología y medicina. Entre los conocimientos que abarca se encuentran las ciencias de: Biología, Fisiología, Química, Física, Matemáticas, Electrónica y Computación, las cuales son usadas en la Medicina, Salud y Rehabilitación para el beneficio de la sociedad y la calidad de vida. [15] [16]

I.1.1.- Ingeniería Clínica

Especialidad donde se aplican los métodos de las ciencias exactas y de la ingeniería en el Sector Salud, en el cual el uso de tecnologías médicas contribuye a la prevención, protección, diagnóstico y disminución de riesgo en el tratamiento de enfermedades, con el fin y propósito de brindar el mejor servicio a los pacientes, ofreciendo la mejor opción para mantener una buena calidad de vida.

Los profesionales de la Salud pasan a ser meros usuarios debido a los avances en el campo de las tecnologías médicas, las cuales son cada día más sofisticadas y diversas, por lo cual es necesaria la intervención de profesionales con conocimientos técnicos y exactos de tecnología en el medio hospitalario. El Ingeniero Biomédico deberá de conocer una diversidad de tecnologías, así como su utilización, y brindar entrenamiento al personal médico, además de realizar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo que lo requiera, dar solución a diferentes problemas que se presentan en el ámbito médico-hospitalario, propios del campo de la bioingeniería. [15] [16]

I.1.1.1.-Hospital

Se define como el establecimiento sanitario donde se atienden a personas con algún padecimiento o enfermedad, en el cual los pacientes reciben diagnóstico y tratamiento necesario. Existen diferentes tipos de hospitales: general, especializado, del sector público, social o privado. [6]

I.1.1.2.-Ingeniero Clínico

Al igual que el Ingeniero Biomédico, es un profesional que aplica métodos de ingeniería, ciencias y tecnología; para resolver problemas de las ciencias de la salud, particularmente auxilia al personal médico con problemas relacionados a equipo médico. [15] [16]

I.2.- DISPOSITIVO MÉDICO

Es la sustancia, mezcla, material, aparato, instrumento o programa de informática; empleado solo o en combinación, en el diagnóstico, monitoreo o prevención de enfermedades en humanos o auxiliares en el tratamiento de las mismas y de la discapacidad, así como los empleados en el reemplazo, corrección, restauración o modificación de la anatomía o procesos fisiológicos humanos. [5]

I.2.1.- Equipo médico

Son los aparatos, accesorios e instrumental para uso específico, destinados a la atención médica, quirúrgica o para procedimientos de exploración, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de pacientes, así como aquellos para efectuar actividades de investigación biomédica. [5]

I.3.- CENETEC

El Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC-Salud) es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud, nombrado en 2009 centro colaborador de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que depende directamente de la Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud. CENETEC brinda información sistemática, objetiva y basada en la mejor evidencia disponible, de la gestión y uso apropiado de las tecnologías para la salud, que apoye a la toma de decisiones y el uso óptimo de los recursos en México. [4]

I.3.1.- Dirección de Ingeniería Biomédica

Busca facilitar los conocimientos de la ingeniería aplicada a la medicina en la incorporación, actualización y gestión de equipo médico que se emplea en la prestación de servicios de salud en México, donde lo más fundamental es la detección de necesidades, planeación, evaluación, adquisición, instalación, mantenimiento, capacitación, uso, obsolescencia, baja, reposición del mismo y generar información técnica en materia de equipo médico.

Es responsable de la elaboración de un banco de información de tecnologías en salud, como son las Guías Tecnológicas de dispositivos médicos y las Cédulas de Especificaciones Técnicas, las cuales son un elemento de referencia en la atención médica, que muestran las mejores alternativas para la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades y que considera al mismo tiempo la optimización de los recursos disponibles, cuentan con un formato que facilita su comprensión y ayuda a responder dudas o preguntas que se pudieran tener. No tienen un carácter normativo, sino informativo. [4]

Este trabajo emplea como base la *Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia*, así como las *Cédulas de Especificaciones Técnicas de la Unidad de Anestesia: Básica, Intermedia y de Alta Especialidad*.

I.4.- COFEPRIS

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), será la encargada de las atribuciones, regulación, control y fomento sanitario, para la inspección sanitaria del proceso, uso, mantenimiento, importación, exportación y disposición final de equipos médicos y de los establecimientos dedicados al proceso del producto. Es un órgano desconcentrado con autonomía administrativa, técnica y operativa, siendo la Secretaría de Salud quien la supervisa. [7]

I.4.1.- Comisión de Autorización Sanitaria

Será la encargada de emitir documentos oficiales para la importación y exportación de insumos para la salud, además emite permisos de publicidad, licencias a establecimientos, registros a

productos y certificados de condición sanitaria para medicamentos, productos biológicos, dispositivos médicos, biotecnológicos, servicios de salud, etc. [7]

I.4.2.- Registros Sanitarios de Dispositivos Médicos

Los dispositivos médicos, también llamados insumos para la salud, se utilizan para prevenir, diagnosticar o sustituir el funcionamiento de alguna parte del cuerpo. Estos requieren contar con Registro Sanitario para poder ser fabricados, distribuidos, comercializados o usados en nuestro país; este registro es la autorización que el Gobierno Federal otorga una vez que el solicitante ha demostrado ante evidencias documentadas que el producto es seguro, eficaz y de calidad. [7]

I.4.3.- Clasificación de dispositivos médicos basándose en su nivel de riesgo sanitario

El Comité Técnico de Insumos para la Salud elaboró criterios para una gran variedad de productos incluidos en el sector de Dispositivos Médicos en México, basándose en su nivel de riesgo a la salud, los cuales forman parte importante del sistema de salud en México por su función y participación en el diagnóstico, prevención, tratamiento, rehabilitación de enfermedades y padecimientos en humanos. Las tres clasificaciones se muestran en la siguiente tabla. [7]

Clasificación	Descripción
CLASE I	Aquellos insumos conocidos en la práctica médica y que su seguridad y eficacia están comprobadas y, generalmente, no se introducen al organismo.
CLASE II	Aquellos insumos conocidos en la práctica médica y que pueden tener variaciones en el material con el que están elaborados o en su concentración y, generalmente, se introducen al organismo permaneciendo menos de treinta días.
CLASE III	Aquellos insumos recientemente aceptados en la práctica médica, o bien que se introducen al organismo y permanecen en él, por más de treinta días.

Tabla I.4.1.- Clasificación de dispositivos médicos con base a su nivel de riesgo [10]

De acuerdo con la *Clasificación de dispositivos médicos según su riesgo sanitario y categoría*, la máquina de anestesia y el monitor de signos vitales, pertenecen a la clase II y se clasifican como equipo médico, en los *Criterios para la clasificación de dispositivos médicos basándose en su nivel de riesgo sanitario*, según las reglas 10 y 11; la máquina de anestesia y los parámetros de vigilancia ventilatorios son de clase III, mientras que los dispositivos de monitorización de los procesos fisiológicos vitales, pertenecen a la clase II, como se puede leer a continuación.

Regla 10. Productos activos para el diagnóstico. [9]

- Se clasifican como clase III los productos activos para el diagnóstico que se destinen a:
 - a. Específicamente a la vigilancia de parámetros fisiológicos vitales, cuando las variaciones de esos parámetros puedan suponer un peligro inmediato para la vida del paciente, por ejemplo variaciones en el funcionamiento cardíaco, respiración, actividad del Sistema Nervioso Central (SNC) [...]
 - Se clasifican como clase II los productos activos con fines de diagnóstico destinados a: [...]
 - c. Permitir el diagnóstico directo o la vigilancia de procesos fisiológicos vitales.

Regla 11. Productos activos para administrar medicamentos y otras sustancias al organismo o para eliminarlas de él. [9]

- Se clasifican como Clase III los productos activos destinados a administrar medicamentos y otras sustancias al organismo o para eliminarlas de él de forma potencialmente peligrosa, teniendo en cuenta la naturaleza de las sustancias, la parte del cuerpo que se trate y el modo de aplicación. Entre los que se encuentran de manera enunciativa más no limitativa: Bombas de infusión, respiradores (ventiladores), máquinas de anestesia, vaporizadores de anestesia, [...]

Es importante considerar esta discordancia entre estos documentos, pero más valioso es darse cuenta que los componentes que forman un sistema de anestesia, abarca desde lo elemental como el monitoreo de signos vitales, hasta lo más complejo como un equipo de soporte de vida.

I.4.3.1.- Productos que no requieren registro sanitario

Los accesorios como: cables, sensores, transductores, mangueras, etc.; son dispositivos considerados accesorios o componentes que forman parte de un equipo médico o sistema, que por sí solos no requieren de Registro Sanitario, ya que van incluidos con el equipo correspondiente.

I.5.- NORMAS OFICIALES MEXICANAS

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), expedidas por la Secretaría de Salud en México, algunas de las cuales se mencionarán a continuación, ofrecen: las definiciones, generalidades, requisitos de los profesionales de la salud, de los establecimientos, etiquetado de los dispositivos médicos de origen nacional o extranjero, características mínimas de infraestructura y equipamiento para los hospitales, etc. Las NOM son de observancia obligatoria a todos los profesionales del área de la salud y para los establecimientos para la atención médica, de los sectores: público, social y privado; que prestan este servicio y puedan ofrecer a los usuarios calidad, seguridad y eficiencia, para que la autoridad sanitaria pueda garantizar el derecho a la protección de la salud.

En este trabajo se mencionará la información relacionada con el equipo médico utilizado y requerido para la aplicación de anestesia y monitoreo de signos vitales.

I.5.1.- NOM-006-SSA3-2011 ^[11]

La NOM-006-SSA3-2011. Para la práctica de la anestesiología, menciona las características que deben tener los profesionales especialistas en anestesiología, así como los criterios mínimos de organización y funcionamiento en la práctica en los establecimientos del sector salud. En la sección 7.- *De los establecimientos prestadores de servicios de atención médica para la práctica de la anestesiología*, se señala el equipamiento mínimo con el que deberá contar las áreas de quirófanos y de recuperación postanestésica quirúrgica, la cual se puede leer en el *Apéndice A (Normativo)*, en dicha lista se mencionan entre los equipos requeridos a la máquina de anestesia y el monitor de signos vitales, ya sea tanto para cirugía de adultos como pediátrico y neonato.

A pesar de que esta NOM está dirigida al profesional especialista en anestesiología, el conocerla brindará información relacionada al entorno, uso y aplicación de la máquina de anestesia y el monitor de signos vitales. En la sección 10.- *Lineamientos para el manejo transanestésico*, se mencionan características y verificaciones del funcionamiento del sistema de anestesia, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla.

	ADULTO	PEDIÁTRICO
La máquina de anestesia deberá contar con:		
Oxigenación	Suministros de gas suplementario.	
	Sistema de seguridad para evitar la administración de mezcla de gases que cause hipoxia.	
	Sistema que eviten concentraciones erróneas, originadas en las fuentes de gases.	
	Adecuado funcionamiento de las alarmas y mantenerlas activas.	
	Oximetría de pulso, para vigilar clínicamente la coloración y el llenado capilar.	

Vía aérea y ventilación	Vigilar y mantener la permeabilidad de la vía aérea y la ventilación pulmonar.
	Capnografía y capnometría, en anestesia general.
	Vigilancia clínica de los parámetros ventilatorios.
	Monitoreo con alarmas audibles, cuando se utilice ventilación mecánica.
Con ayuda del monitor de signos vitales:	
Función cardiovascular	Se registrara el pulso periférico y el ritmo cardíaco por medio de una electrocardiografía continua.
	Se medirá la presión arterial, en periodos no mayores de cinco minutos.
Temperatura	Se medirá la temperatura del paciente en intervalos frecuentes.
Profundidad de la anestesia	Se recomienda medir a través del índice biespectral.
Función neuromuscular	Se hará uso de un estimulador de nervios periféricos, en el caso de utilizar relajantes musculares.

Tabla I.5.1.- Lineamientos para el manejo transanestésico [11]

I.5.2.- NOM-137-SSA1-2008 [12]

La NOM-137-SSA1-2008. *Etiquetado de dispositivos*, establece los requisitos mínimos para informar a los usuarios, acerca de los dispositivos médicos, ya sean de origen nacional o extranjero. La información que deberá acompañar a los dispositivos médicos en la etiqueta o contraetiqueta, se especifica en la sección 4. *Información Sanitaria*, entre las que se encuentran la: denominación genérica, datos del fabricante, país de origen, número de registro otorgado por la Secretaría de Salud, fecha de caducidad del producto, número de lote o número de serie, contenido, instrucciones de uso, leyenda de advertencia; igualmente, se debe señalar si es un producto estéril, desechable; esta información es mínima obligatoria a declarar y es posible incluir información adicional. Cuando el dispositivo médico requiera de un programa informático específico a fin de cumplir su funcionamiento, este deberá declarar la versión correspondiente.

I.5.3.- NOM-016-SSA3-2012 [13]

La NOM-016-SSA3-2012. *Que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada*, es la encargada de proporcionar las características mínimas de organización, funcionamiento, infraestructura, recursos humanos y tecnológicos, así como mobiliario y equipo de los establecimientos de atención a la salud de la población en general. Esta norma menciona solo algunas unidades y áreas hospitalarias por lo que el equipamiento aplicará en lo general, de acuerdo con el tipo de hospital, grado de complejidad y capacidad; y no representa las únicas áreas donde encontraremos equipo de anestesia y monitores de signos vitales.

En la sección 5. *Disposiciones generales aplicables a los establecimientos para la atención médica hospitalaria*, indica que los establecimientos para la atención médica hospitalaria deberán realizar el mantenimiento preventivo y correctivo del equipo médico, electromédico y de alta precisión, este se deberá llevarse a cabo de acuerdo con los estándares recomendados por el fabricante y las necesidades de la unidad hospitalaria. En la sección 6. *Infraestructura y equipamiento de hospitales*, se señalan varios apéndices normativos específicos para áreas de tratamiento, solo se considerarán los que hagan referencia al sistema de anestesia, los cuales se pueden ver en la siguiente tabla, además de la relación que comparte con el *Apéndice A*, de la NOM-006-SSA3-2011. *Para la práctica de la anestesiología*.

Área de tratamiento	MA	MSV	NOM 016-SSA3-2012	NOM 006-SSA3-2011
UNIDAD QUIRÚRGICA				
Sala de operaciones	✓	✓	Apéndice H	Apéndice A
Recuperación post-anestésica		✓		
UNIDAD DE OBSTETRICIA O TOCOLOGÍA				
Sala de expulsión	✓	✓	Apéndice K	
UNIDAD TOCOQUIRÚRGICA				
Sala de operaciones	✓	✓	Apéndice L	Apéndice A
Recuperación postanestésica		✓		
UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS O TERAPIA INTENSIVA				
Área de atención a pacientes		✓	Apéndice M	
HOSPITALIZACIÓN DE ADULTOS				
Individual		✓	Apéndice N	
Colectivo		✓		
HOSPITALIZACIÓN DE PEDIATRÍA				
		✓	Apéndice P	
SERVICIO DE URGENCIAS				
Sala de choque		✓	Apéndice Q	
MA: Máquina de anestesia			MSV: Monitor de signos vitales	

Tabla 1.5.2.- Localización de máquinas de anestesia y monitores de signos vitales [13]

Es valioso destacar que las NOM no son un listado o catálogo de mobiliario y equipo, y tampoco representa un instrumento limitativo para los establecimientos de atención médica, sino que se constituye en una plataforma que permite, a partir de lo mínimo, el mejoramiento gradual de los establecimientos para la atención médica, a través de la incorporación y sustitución de mobiliario, equipos e instrumentos similares o equivalentes y en su caso, por tecnología superior y de punta, en las diversas áreas y servicios de la medicina.

1.5.4.- NOM-240-SSA1-2012 [14]

NOM-240-SSA1-2012. Instalación y operación de la Tecnovigilancia. El propósito de la Tecnovigilancia es garantizar que los dispositivos médicos que se encuentran disponibles en el mercado funcionen de la manera indicada conforme a la intención de uso del fabricante y en caso contrario se tomen las acciones correspondientes para corregir y/o disminuir la probabilidad de recurrencia de los incidentes adversos, con la finalidad de garantizar la protección de la salud y la seguridad de los usuarios de dispositivos médicos.

Por lo tanto, la Tecnovigilancia realizará un conjunto de actividades para identificar y evaluar incidentes adversos producidos por los dispositivos médicos; reportados por los fabricantes, usuarios y operarios a la Secretaría de Salud, para permitir disminuir la probabilidad de recurrencia o atender las consecuencias de dichos incidentes. Comprende a los sectores: públicos, social y privados del sistema nacional de salud, titular del registro sanitario, distribuidores, comercializadores y a cualquier otro establecimiento involucrado en el suministro de los dispositivos médicos.

Encontraremos información relacionada con la responsabilidad del titular del registro sanitario del dispositivo médico, de los Centros Estatales, Centros Institucionales y demás Instituciones del Sistema Nacional de Salud a poner en funcionamiento las actividades de Tecnovigilancia, ya sea

con una unidad, líder o responsable de Tecnovigilancia. Se señala el proceso, las fuentes de información, los criterios para determinar y comunicar un incidente adverso, así como los errores de usos y los incidentes que no se reportan, donde el titular del registro podrá tener acceso a la investigación. El proceso termina con la notificación, es decir, la evaluación del riesgo obtenida de los incidentes adversos, donde se determinarán las medidas de seguridad a seguir.

Incidente adverso

Los métodos para la determinación de un incidente adverso se encuentran en el apartado 7.- *Criterios para determinar qué incidentes adversos deben comunicarse al Centro Nacional de Farmacovigilancia*. Donde se dice qué es el acontecimiento comprobado, que está relacionado con el uso de un dispositivo médico que cuente con pruebas contundentes de la relación causal entre el incidente y el dispositivo médico, y que pudiera ser ocasionado por un mal funcionamiento o alteración de las características del dispositivo médico y que pueda provocar la muerte o el deterioro grave de la salud del usuario. No se considerará incidente adverso a aquel derivado del uso anormal o un uso diferente del recomendado por el titular del registro sanitario del dispositivo médico o su representante legal en México.

CAPÍTULO II

Anestesia

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se mencionará la definición, tipos, técnicas y etapas de la anestesia. Será una referencia fundamental para conocer y saber el funcionamiento, además de la aplicación del sistema de anestesia, e indicar el momento y lugar donde se empleará.

II.1.- ETAPAS DE LA ANESTESIA

La anestesia se define como la privación: total, parcial o local; de la sensibilidad reversible, es una rama de la medicina especializada en la atención médica de los pacientes que son sometidos a procedimientos médico quirúrgicos, tanto en pacientes adultos, pediátricos y neonatos. En un procedimiento quirúrgico es necesario producir en el paciente un estado de inconciencia, insensibilidad al dolor, pérdida de la motilidad y del control de los reflejos: antes, durante y después de la intervención. Lo anterior es producido por la administración de sustancias farmacológicas por distintas vías. Las etapas de la anestesia se conocen como el recorrido que debe hacer un paciente cuando es llevado a cirugía, el proceso cuenta con tres etapas.

II.1.1.- Etapa Preanestésica

Es el estudio y valoración del paciente, previo a la aplicación de la anestesia, para seleccionar el procedimiento de menor riesgo y el más apropiado a cada situación, para evitar nuevas morbilidades, permitir una adecuada y rápida recuperación. El paciente es evaluado y se definen las características individuales y exclusivas para su caso.

II.1.2.- Etapa Transanestésica

Se refiere a la aplicación correcta y oportuna de la anestesia, siendo la responsabilidad del anestesiólogo, tanto en la inducción, como en la o las técnicas para la suministración de la misma y el mantenimiento del estado anestésico. Se hace uso de la máquina de anestesia, además del monitoreo de signos vitales de manera permanente para conservar y vigilar las condiciones del paciente.

II.1.3.- Etapa Postanestésica

Se refiere a la recuperación del paciente intervenido, implica la eliminación del estado provocado y la estabilidad completa de sus funciones. En la unidad de recuperación o de cuidados postanestésicos, al paciente se le deberán vigilar y evaluar en forma periódica y frecuente: la función respiratoria, cardiovascular, mental, neuromuscular, etc.; hasta que recupere su estado prequirúrgico.

II.2.- TIPOS DE ANESTESIA

Se refiere al tipo de anestesia que se aplica al paciente para la realización de un procedimiento médico específico. Se selecciona y personaliza por el nivel de complicación del procedimiento, además de adecuarse a las características y necesidades de cada paciente.

II.2.1.- Anestesia General

Ejerce efecto sobre el Sistema Nervioso Central (SNC), se asocia a la pérdida reversible de la conciencia, analgesia de cuerpo completo, amnesia y cierto grado de relajación muscular. Hace que el paciente permanezca completamente inconsciente durante la intervención, sin conciencia ni recuerdos de la misma. El anestesiólogo calcula permanentemente las dosis para ajustar el nivel de anestesia a las necesidades de la intervención y a las características de cada paciente; se administran generalmente una serie de fármacos de manera intravenosa, intramuscular o inhalatorio; tienen una acción sedante, hipnótica, analgésica y relajante.

Los anestésicos inhalatorios tienen propiedades farmacológicas únicas, la captación del anestésico depende de su solubilidad en la sangre, cuanto más elevado sea el cociente sangre/gas, mayor resultará la solubilidad del anestésico y más grande será su captación en la circulación pulmonar. Los anestésicos intravenosos, a diferencia de los agentes inhalatorios, tienen un efecto hipnótico y analgésico, poseen en general efectos más puros, es decir, algunos son hipnóticos, otros son analgésicos y otros producen parálisis muscular, por lo cual se pueden utilizar como inductores para continuar luego con gases anestésicos.

La anestesia general se requiere cuando se realizan procedimientos exhaustivos, de larga duración, o que involucren una posición incómoda. El monitoreo de los signos vitales del paciente, se realiza antes, durante y después de la aplicación de la anestesia general.

II.2.2.- Anestesia Regional

Ocasiona la pérdida de la sensibilidad en una región del cuerpo que va a ser operada, se inyecta una determinada solución de anestésico dentro de áreas alrededor de la columna vertebral o alrededor de los nervios que abastecen una región específica del cuerpo que recibe la sensibilidad de dicha zona. El paciente permanece despierto o con una sedación ligera, pero no recibe sensación dolorosa alguna durante los procedimientos quirúrgicos.

II.2.3.- Anestesia Local

Se aplica directamente sobre los tejidos de la zona que se va a intervenir, bloquea las fibras nerviosas en una parte reducida y específica del cuerpo. Los anestésicos locales son fármacos que bloquean la conducción nerviosa, produce insensibilidad y bloquea la función motora en el área inervada de manera reversible, se puede administrar en forma tópica, por atomización, nebulización o filtración, cuando se inyectan en la piel impiden la generación y transmisión de los impulsos sensitivos. Se emplea para intervenciones menores sobre partes muy limitadas, como la mano, pie u ojo.

II.2.4.- Anestesia General Balanceada

La combinación de dos técnicas como la inhalatoria e intravenosa, brindan un mejor bienestar a los pacientes durante la inducción, el mantenimiento y la recuperación de la anestesia, permite minimizar el riesgo y maximiza la comodidad y seguridad del paciente. Se denomina anestesia balanceada, porque cada compuesto intravenoso se utiliza para un fin concreto, como la analgesia, la inconsciencia, la amnesia, la relajación muscular o el bloqueo de los reflejos. La técnica que consiste en la utilización de una combinación de agentes intravenosos e inhalatorios para la inducción y el mantenimiento de la anestesia general es una de las más utilizadas en la práctica clínica habitual.

CAPÍTULO III

Fisiología Involucrada en Anestesia

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se mencionarán el Sistema Nervioso, Respiratorio y Cardiovascular; tres de los principales sistemas fisiológicos involucrados en la anestesia y el monitoreo de signos vitales, se mencionarán de manera independiente a pesar de que todos ellos trabajan conjuntamente, esto con el fin de mostrar sus características de una forma ordenada y clasificada.

III.1.- SISTEMA NERVIOSO

Es un sistema de control, que recibe señales, codifica información y posteriormente la procesa, es una red de tejidos que se distribuye por todo el cuerpo en forma de ramas. Es básicamente un sistema de comunicación para el procesamiento de señales y reorganización de las mismas. El Sistema Nervioso tiene dos funciones principales:

1. Regular, actuando homeostáticamente en la restauración de algunas condiciones del organismo después de algún estímulo externo.
2. Actuar, para alterar una condición preexistente reemplazándola o modificándola.

III.1.1.- Tejido nervioso

El tejido nervioso está formado por dos tipos de células: neurona y neuroglia.

III.1.1.1.- Neurona

Tiene la propiedad de ser eléctricamente excitables, tiene la capacidad de responder a un estímulo y convertirlo en un potencial de acción y es responsable de la mayoría de las funciones propias del sistema nervioso como: la sensibilidad, el pensamiento, los recuerdos, el control de la actividad muscular y la regulación de la secreción glandular. Casi todas las neuronas tienen tres partes constitutivas:

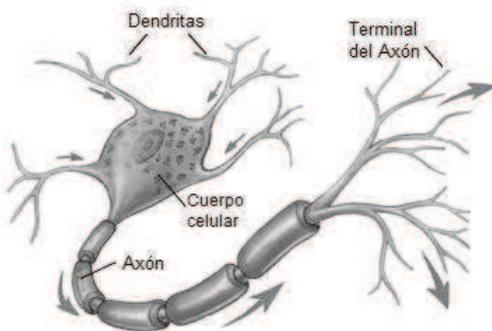


Imagen III.1.1.1.- Neurona [6]

1. Cuerpo celular, donde se produce la integración.
2. Dendritas, constituyen la principal región de recepción de estímulo.
3. Axón, propaga los impulsos nerviosos hacia otra neurona. Conduce los impulsos nerviosos desde el segmento inicial hasta los terminales axónicos de manera auto regenerativa, la amplitud del impulso no varía a medida que este se propaga a lo largo del axón.

Las neuronas se comunican entre sí por medio de potenciales graduados, que se utilizan solo para la comunicación a corta distancia y por medio de potenciales de acción, que permiten la comunicación a través de distancias tanto cortas como largas dentro del organismo.

III.1.1.2.- Neuroglia

Proporciona sostén, nutrición, protección a las neuronas y mantiene la homeostasis del líquido intersticial que las baña. Corresponde casi la mitad del volumen del Sistema Nervioso Central (SNC), las células gliales no generan ni propagan potenciales de acción.

III.1.2.- Funciones del Sistema Nervioso

El Sistema Nervioso lleva a cabo un conjunto complejo de tareas. De las cuales se pueden agrupar tres funciones básicas:

III.1.2.1.- Función Sensitiva

Los receptores sensitivos detectan los estímulos internos y externos. Las neuronas sensitivas o aferentes transportan esta información hacia el encéfalo y la médula espinal a través de los nervios craneales y espinales.

III.1.2.2.- Función Integradora

El Sistema Nervioso integra la información sensitiva analizando y conservando parte de esta y tomando decisiones para efectuar las respuestas apropiadas. Una función integradora importante es la percepción que constituye la sensación consciente de un estímulo sensitivo. Muchas de las neuronas que participan en la integración son interneuronas, con axones que se extienden solo por una corta distancia y toman contacto con neuronas cercanas localizadas en el cerebro o la médula espinal.

III.1.2.3.- Función Motora

Una vez que la información sensorial ha sido integrada, el Sistema Nervioso puede generar una respuesta motora, las neuronas que cumplen esta función se denominan neuronas motoras o eferentes. Las neuronas motoras llevan información desde el cerebro hacia la médula espinal o fuera del encéfalo y de la médula espinal a los efectores a través de los nervios craneales y espinales. La estimulación de los efectores por las neuronas eferentes puede producir la contracción de un músculo o estimular una glándula para aumentar su secreción.

III.1.3.- Organización del Sistema Nervioso

Las dos subdivisiones principales del Sistema Nervioso son: el Sistema Nervioso Central (SNC), formado por el encéfalo y por la médula espinal; y el Sistema Nervioso Periférico (SNP), que comprende a todos los tejidos nerviosos situados fuera del SNC.

III.1.3.1.- Sistema Nervioso Central

El SNC procesa muchas clases distintas de información sensitiva aferente. La mayoría de los impulsos nerviosos que estimulan a los músculos para que se contraigan y a las glándulas para que aumenten su secreción se originan en el SNC.

- **Encéfalo**

Protegido por los huesos del cráneo y por las meninges craneales, presenta cuatro porciones principales: el tronco encefálico, constituido por el bulbo raquídeo, contiene tanto tractos motores como sensitivos, que van desde la médula espinal hasta el encéfalo, presenta núcleos vitales que regulan la frecuencia cardíaca, respiratoria, vasoconstricción, etc.; el cerebelo, se conecta con el tallo cerebral, tiene como función primaria el evaluar cómo se lleva a cabo un movimiento iniciado por las áreas motoras del cerebro, coordina secuencias complejas de movimientos musculares esqueléticos, y además de la coordinación de los movimientos voluntarios; el diencefalo, formado por: el tálamo, envía casi toda la información sensorial a la corteza cerebral, tiene núcleos que intervienen en la planificación y control de movimientos; el hipotálamo controla e integra las

actividades del Sistema Nervioso Autónomo (SNA) y de la glándula hipófisis; y por último, el epitalamio, formado por la glándula pineal que secreta melatonina.

El cerebro; formado por dos mitades, derecha e izquierda, se conocen como hemisferios cerebrales, constan de una capa externa de sustancia gris; la corteza cerebral, que contiene millones de neuronas, y una región interna de sustancia blanca, se conectan internamente mediante el cuerpo caloso, una ancha banda de sustancia blanca que contiene axones que se extienden de un hemisferio a otro, los hemisferios cerebrales se dividen en cuatro lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital.

- **Médula espinal**

Cumple con dos funciones principales: la propagación de impulsos nerviosos y la integración de información; está protegida por la columna vertebral, las meninges, el líquido cefalorraquídeo y los ligamentos dentados. Los nervios espinales o raquídeos se conectan con cada segmento de la médula espinal por medio de dos raíces, la raíz posterior contiene los axones sensitivos y la raíz anterior contiene los axones de las neuronas motoras, son las vías de comunicación entre la médula espinal y los nervios que inervan regiones específicas del cuerpo.

Los tractos presentes en la sustancia blanca de la médula espinal constituyen las vías para la propagación de los impulsos nerviosos, la información sensitiva se dirige a través de estos tractos hacia el cerebro, mientras que los impulsos motores van desde el cerebro hacia los músculos esqueléticos y otros efectores tisulares, la sustancia gris de la médula espinal recibe e integra la información entrante y saliente. El segundo mecanismo con el cual la médula espinal promueve la estabilidad interna es por su función como centro integrador de algunos reflejos.

III.1.3.2.- Sistema Nervioso Periférico

Abarca a todos los tejidos nerviosos situados por fuera del SNC. Está formado por los nervios craneales y espinales, que emergen del SNC y que recorren todo el cuerpo. El SNP puede ser subdividido, a su vez en:

Sistema Nervioso Somático (SNS) que consiste en:

- 1) Neuronas sensitivas que transmiten la información desde los receptores somáticos de la cabeza, pared corporal y miembros; desde los receptores para los sentidos especiales de: la visión, audición, gusto y olfato; hacia el SNC; y
- 2) Neuronas motoras que conducen impulsos desde el SNC hacia los músculos esqueléticos solamente. El SNS está compuesto por:

- **Nervios Craneales**

Los 12 pares de nervios o pares craneales forman parte del SNP. Cada nervio craneal se clasifica comúnmente con número romano, los cuales indican su orden, de adelante hacia atrás, en que los nervios salen del cráneo. Se encuentran ramificados hacia diferentes partes del cuerpo para cumplir funciones relacionadas con actividades motoras y sensoriales de la cabeza.

- **Nervios Espinales o Raquídeos**

Forman parte del SNP, conectan al SNC con los receptores sensitivos, los músculos y las glándulas de todo el organismo, son las vías de comunicación entre la médula espinal y los nervios que inervan regiones específicas del cuerpo. Los 31 pares de nervios espinales se designan y se enumeran de acuerdo con la región y el nivel de la columna vertebral de donde emergen, se hallan unidos a la médula espinal por una raíz anterior y una raíz posterior, están constituidos tanto por axones sensitivos como por axones motores, es decir, son nervios mixtos. Los 31 pares de nervios

espinales son: 8 pares de nervios cervicales (C1-C8), 12 pares de nervios torácicos (T1-T12), 5 pares de nervios lumbares (L1-L5), 5 pares de nervios sacros (S1-S5) y 1 par de nervios coxígeos (C0).

Sistema Nervioso Autónomo (SNA) que consiste en:

- 1) Neuronas sensitivas que transportan información proveniente de los receptores sensitivos autónomos, localizados principalmente en órganos viscerales como el estómago y los pulmones, hacia el SNC; y
- 2) Neuronas eferentes que conducen impulsos nerviosos desde el SNC hacia el músculo liso, el músculo cardíaco y las glándulas.

Dado que estas respuestas motoras no están normalmente bajo control consciente, el SNA es involuntario. La parte motora del SNA comprende la división simpática y la división parasimpática. Con pocas excepciones, los efectores están inervados por ambas divisiones, y habitualmente estas ejercen acciones opuestas. El SNA está distribuido por dos divisiones:

- **Sistema Simpático**

Es la división más grande del SNA, se distribuye ampliamente en todo el cuerpo e inerva el corazón, los pulmones, los folículos pilosos, las glándulas sudoríparas, muchas vísceras abdominopelvianas, etc. Su función es preparar al organismo para una emergencia, por ejemplo, la frecuencia cardíaca aumenta, las arteriolas de la piel y el intestino se contraen, la presión arterial se eleva, etc.

- **Sistema Parasimpático**

Las actividades de esta división están dirigidas a conservar y restablecer la energía. Inversamente como el ejemplo anterior, la frecuencia cardíaca disminuye, las pupilas se contraen, los esfínteres se abren y la pared vesical se contrae.

III.1.3.3.- Sistema Nervioso Entérico (SNE)

El funcionamiento del SNE, es involuntario, contiene aproximadamente 100 millones de neuronas situadas en los plexos entéricos que se distribuyen a lo largo de la mayor parte del tracto gastrointestinal (GI). Muchas de las neuronas localizadas en los plexos entéricos funcionan, hasta cierto punto, en forma independiente del SNA y del SNC, aunque también se comunican con el SNC por medio de neuronas simpáticas y parasimpáticas. Las neuronas sensitivas del SNE monitorizan los cambios químicos que se producen en el tracto GI, así como la distensión de sus paredes. Las neuronas motoras entéricas coordinan la contracción del músculo liso del tracto GI que determina la progresión del alimento a lo largo de él, regulan las secreciones de los órganos digestivos y la actividad de las células endocrinas del aparato digestivo, que secretan hormonas.

III.2.- SISTEMA RESPIRATORIO

Es el encargado de dos de los procesos fundamentales para el ser humano: la respiración externa e interna, es decir, la respiración pulmonar la cual se encarga de la captación de oxígeno (O₂) y la eliminación del dióxido de carbono (CO₂), realizado en los pulmones, y la respiración tisular que involucra el transporte del O₂ y CO₂ desde y hacia los tejidos.

III.2.1.- Anatomía del Sistema Respiratorio

El Sistema Respiratorio se divide en dos partes, de acuerdo con su función:

III.2.1.1.- Zona de conducción

Son las vías respiratorias que consisten en una serie de cavidades y tubos interconectados fuera y dentro de los pulmones, se comprende de: las fosas nasales, faringe, laringe, tráquea, bronquios y bronquiolos. La ramificación del árbol bronquial está compuesta por: la tráquea, dividida en dos conductos llamados bronquios principales: izquierdo y derecho; estos penetran en los pulmones, donde se ramifican múltiples veces, la tráquea es aquella que lleva el aire a los bronquios, de ahí a los bronquiolos y por último a los alvéolos pulmonares.

III.2.1.2.- Zona respiratoria

Está constituida por tejidos dentro de los pulmones donde tiene lugar el intercambio gaseoso: los bronquiolos y los alvéolos. Los pulmones son órganos pares, de forma cónica, situados en la cavidad torácica, están separados uno del otro por el corazón y otras estructuras que dividen a la cavidad torácica en dos compartimentos anatómicamente diferentes. Dos capas de serosa, llamadas en conjunto membrana pleural, encierran y protegen a cada pulmón.

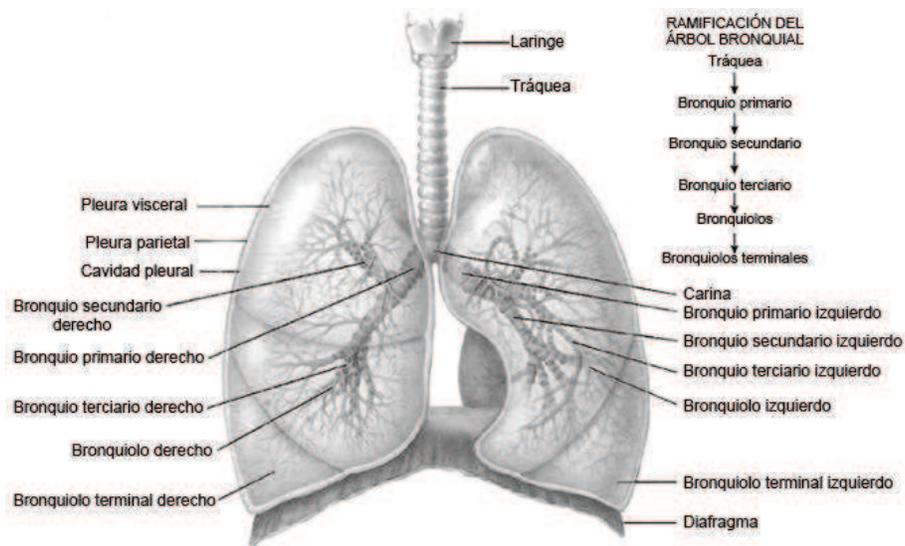


Imagen III.2.1.1.- Árbol bronquial [a]

Cada bronquio primario se ramifica dentro de los pulmones en: bronquio secundario y terciario, hasta llegar a formar los bronquiolos y los bronquiolos terminales, estos últimos se subdividen en ramas microscópicas, llamadas bronquiolos, ramificados a su vez en varios conductores alveolares, a su alrededor de la circulación se encuentran numerosos alvéolos y sacos alveolares, donde se intercambian los gases entre el O₂ y la sangre.

III.2.2.- Mecánica de la respiración

Son los movimientos y procesos, lo cuales en combinación con el Sistema Circulatorio realizarán la respiración pulmonar y tisular.

III.2.2.1.- Ventilación pulmonar

Es el conjunto de movimientos que permiten el ingreso de aire y la exhalación de CO₂ de los pulmones, a continuación se exponen por separado las fases de la respiración.

- **Inspiración**

Es la introducción del aire en los pulmones, justo antes de cada inspiración, la presión del aire dentro de los pulmones es igual a la presión atmosférica, para que el aire fluya hacia el interior de

los pulmones, la presión dentro de los alvéolos debe ser menor que la presión atmosférica. Las diferencias de presión provocadas por los cambios en el volumen de los pulmones obligan al aire a entrar en estos cuando inspiramos y a salir cuando espiramos. La contracción del diafragma y de los músculos externos aumenta el diámetro del tórax y disminuye la presión intrapleurales, de manera que se expanden los pulmones, dicha expansión reduce la presión alveolar, de manera que el aire se desplaza siguiendo un gradiente de presión desde la atmósfera hacia los pulmones. El músculo más importante de la inspiración es el diafragma, el cual tiene una forma de cúpula, que forma el piso de la cavidad torácica, su contracción hace que se aplane y baje su cúpula.

Durante la inspiración normal el diafragma produce una diferencia de presión de 1 a 3 mmHg, con un volumen de unos 500 ml de aire, la contracción del diafragma es responsable del 75% de aire que ingresa en los pulmones en una ventilación normal, el otro 25% es producido por los músculos intercostales externos, los cuales se contraen y provoca que las costillas se eleven, produciendo un aumento en los diámetros anteroposterior y lateral de la cavidad torácica. La inspiración normal o la ventilación forzada involucran contracción muscular, el proceso de inspiración es activo.

- **Espiración**

Se conoce como la expulsión de CO₂, también debido a un gradiente de presión, pero en este caso es en la dirección opuesta, la presión en los pulmones es mayor que la presión atmosférica. La espiración normal, a diferencia de la inspiración, es un proceso pasivo, porque no involucra ninguna contracción muscular, en lugar de esta, la espiración es producto de la retracción elástica de la pared del tórax y los pulmones, que tienen una tendencia natural a retraerse nuevamente después de su expansión. La espiración comienza cuando el diafragma se relaja, la cúpula se mueve hacia arriba a causa de su elasticidad, los intercostales externos se relajan y descienden las costillas. Estos movimientos disminuyen los diámetros: vertical, lateral y anteroposterior; de la cavidad torácica, lo cual reduce el volumen pulmonar. La presión alveolar aumenta a cerca de 762 mmHg, mayor que la presión atmosférica, la relación del diafragma y de los intercostales externos dan como resultado la retracción elástica del tórax y los pulmones, la cual incrementa la presión intrapleurales, de manera que el aire se mueve desde los pulmones hacia la atmósfera.

III.2.2.2.- Respiración pulmonar

Inicia en la aurícula derecha cuando se llena de sangre desoxigenada por medio de las venas cavas superior e inferior, con ayuda de la válvula tricúspide pasa al ventrículo derecho, después la sangre desoxigenada pasa a través del tronco pulmonar, que se divide en una arteria pulmonar izquierda que entra en el pulmón izquierdo y una arteria pulmonar derecha que entra en el pulmón derecho, llega hasta los alvéolos, las paredes de los alvéolos pulmonares son muy delgadas y están rodeadas por una red de capilares sanguíneos, y es ahí donde se realiza el intercambio gaseoso.

La respiración pulmonar es la difusión del O₂ del aire de los alvéolos, obtenido en la inspiración, a la sangre en los capilares pulmonares y la difusión del CO₂ en la dirección opuesta, el cual es eliminado en la espiración. La respiración externa en los pulmones convierte la sangre desoxigenada, proveniente del lado derecho del corazón, en sangre oxigenada, que vuelve al lado izquierdo del corazón. A medida que la sangre fluye a través de los capilares pulmonares, capta O₂ del aire alveolar y desprende CO₂ hacia este, donde cada gas se difunde independientemente desde el área donde su presión parcial es mayor hacia el área donde su presión parcial es menor. El O₂ se difunde desde el aire alveolar, donde su presión parcial es de 105 mmHg, hacia la sangre en los capilares pulmonares, donde la PO₂ es solo de 40 mmHg. La difusión continúa hasta que la PO₂ de la sangre capilar pulmonar aumente hasta alcanzar la PO₂ del aire alveolar, 105 mmHg. La PO₂ de la sangre en las venas pulmonares es levemente menor que la PO₂ en los capilares

pulmonares, cerca de 100 mmHg. Mientras el O_2 se difunde desde el aire alveolar hacia la sangre desoxigenada, el CO_2 lo hace en la dirección opuesta. La PCO_2 de la sangre desoxigenada es de 45 mmHg, mientras que la PCO_2 del aire alveolar es de 40 mmHg. A causa de esta diferencia de PCO_2 , el CO_2 se difunde desde la sangre desoxigenada hacia los alvéolos hasta que la PCO_2 de la sangre disminuye a 40 mmHg. La espiración mantiene la PCO_2 alveolar en 40 mmHg. La sangre oxigenada que vuelve al lado izquierdo del corazón en las venas pulmonares tiene una PCO_2 de 40 mmHg.

III.2.2.3.- Respiración tisular

El ventrículo izquierdo bombea sangre oxigenada hacia la aorta y a través de las arterias sistémicas a los capilares sistémicos. El intercambio de O_2 y CO_2 entre los capilares sistémicos y las células se llama respiración interna o intercambio de gas sistémico. A medida que el O_2 abandona el torrente sanguíneo, la sangre oxigenada se convierte en sangre desoxigenada. A diferencia de la respiración externa que solo tiene lugar en los pulmones, la respiración interna se realiza en todos los tejidos del organismo.

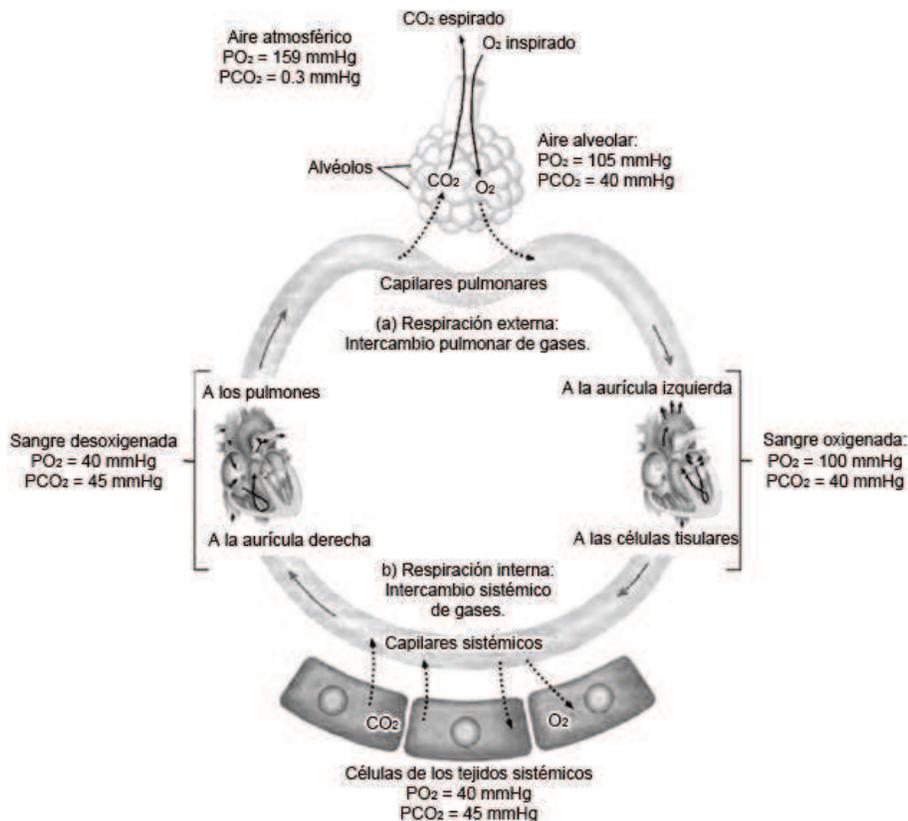


Imagen III.2.2.1.- Cambios de las presiones parciales de O_2 y CO_2 durante la respiración externa e interna. [a]

La PO_2 de la sangre bombeada hacia los capilares sistémicos es más alta, 100 mmHg, que la PO_2 en las células, 40 mmHg. Es por esta diferencia de presión, el oxígeno difunde desde los capilares hacia las células y la PO_2 de la sangre disminuye a 40 mmHg en el momento en que la sangre sale de los capilares sistémicos. Mientras el O_2 se desplaza desde los capilares sistémicos hacia las células de los tejidos, el CO_2 se mueve en dirección opuesta. Como las células están produciendo CO_2 de forma continua, la PCO_2 celular de 45 mmHg, es más alta que la de la sangre capilar sistémica de 40 mmHg. El resultado es que el CO_2 se difunde desde las células a través del líquido intersticial hacia los capilares sistémicos hasta que la PCO_2 en la sangre aumenta a 45 mmHg. La

sangre desoxigenada regresa luego al corazón y es bombeada hacia los pulmones para reanudar otro ciclo de respiración externa.

III.2.3.- Volúmenes y capacidades pulmonares

En reposo un adulto sano efectúa alrededor de doce ventilaciones por minuto, con cada inspiración y espiración moviliza alrededor de 500 ml de aire hacia dentro y fuera de los pulmones, esto se le conoce como ventilación minuto (VM), y es el producto de la frecuencia respiratoria por el volumen corriente.

III.2.3.1.- Volúmenes pulmonares

- Volumen corriente o tidal (VC), es el volumen de aire inspirado y espirado durante cada ciclo respiratorio normal.
- Volumen de reserva inspiratoria (VRI), es el aire inspirado con un esfuerzo inspiratorio máximo después de una inspiración normal.
- Volumen de reserva espiratoria (VRE), es el máximo volumen de aire que puede ser espirado desde el fin de una espiración a volumen corriente.
- Volumen residual (VR), es el aire que permanece en los pulmones después de un esfuerzo espiratorio máximo es el volumen residual, mantiene a los alvéolos levemente insuflados.

III.2.3.2.- Capacidades pulmonares

Las capacidades pulmonares son combinaciones de volúmenes específicos, que igual que los volúmenes pulmonares están definidos y varían dependiendo del género, altura y edad.

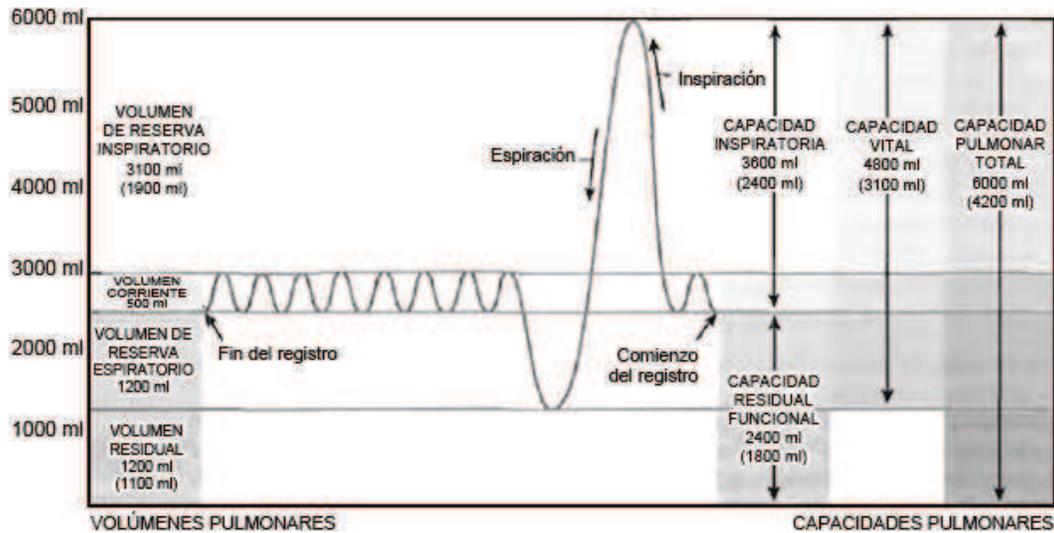


Imagen III.2.3.1.- Volúmenes y capacidades pulmonares. [8]

- Espacio muerto respiratorio, son las vías aéreas de conducción con aire que no experimenta intercambio gaseoso.
- Capacidad inspiratoria (CI), máximo volumen de aire que puede ser inspirado desde el fin de una espiración a volumen corriente, es la suma del volumen corriente y el volumen de reserva inspiratoria.
- Capacidad vital (CV), es la mayor cantidad de aire que puede espirarse después de un esfuerzo inspiratorio máximo, es la suma del volumen de reserva inspiratorio, el volumen corriente y el volumen de reserva espiratorio.

- Capacidad pulmonar total (CPT), volumen de aire contenido dentro de los pulmones luego de una inspiración máxima, es la suma de la capacidad vital y el volumen residual.
- Capacidad residual funcional (CRF), volumen de aire contenido en los pulmones luego de una espiración normal a volumen corriente.

III.3.- SISTEMA CIRCULATORIO

La función de la circulación consiste en atender las necesidades del organismo, el sistema transporta el O₂ y regresa el CO₂ a los pulmones. Es una gran red organizada que recorre el cuerpo humano, compuesta por tres elementos esenciales e interrelacionados, los cuales son: corazón, sangre y los vasos sanguíneos; donde la sangre es bombeada por el corazón a través de un sistema cerrado de vasos sanguíneos. La circulación está dividida en circulación sistémica y circulación pulmonar.

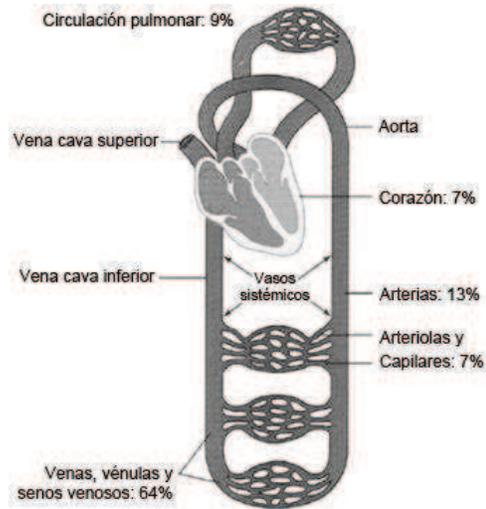
III.3.1.- La Sangre

Es un tejido conectivo, transporta O₂ desde los pulmones y nutrientes desde el tracto GI; el CO₂, además de otros desechos que lo hacen en la dirección opuesta. Las funciones de la sangre son:

1. Transporte, la sangre transporta oxígeno desde los pulmones hacia las células del cuerpo y CO₂ desde las células hacia los pulmones, para ser exhalado. Lleva nutrientes desde el tracto GI hacia las células y hormonas desde las glándulas endocrinas hacia otras células. Transporta calor y productos de desecho hacia diferentes órganos para que sean eliminados del cuerpo.
2. Regulación, la sangre circulante ayuda a mantener un buen funcionamiento interno, regula el pH y ajusta la temperatura corporal.
3. Protección, la sangre puede coagularse, lo que evita una pérdida excesiva de la misma y los glóbulos blancos protegen de enfermedades y combaten toxinas.

La sangre posee una viscosidad mayor que la del agua, una temperatura de 38°C y un pH de entre 7.35-7.45, constituye el 8% del peso corporal y un volumen de 4 a 6 litros en adultos. Alrededor del 84% de todo el volumen en el organismo se encuentra en la circulación sistémica, de esta el 64% está en las venas, el 13% en las arterias y un 7% en las arteriolas y capilares sistémicos; y el 16% se encuentra en el corazón y pulmones, 7% en el corazón y un 9% en los vasos pulmonares.

Imagen III.3.1.1- Distribución de la sangre en el sistema circulatorio [2]



III.3.2.- El Corazón

Es la bomba que permite la circulación a través del organismo, la sangre es constantemente bombeada a través de los vasos sanguíneos, con ello alcanza a las células del organismo y permite el intercambio de sustancias, el corazón late alrededor de 100,000 veces aproximadamente 14 000 litros de sangre al día. Está protegido por una membrana llamada pericardio, que mantiene su posición en el mediastino y le ofrece la libertad de movimiento para la contracción, descansa sobre el diafragma.

La pared cardíaca está formada por tres capas: el epicardio, el cual es una lámina delgada y transparente; el miocardio es el tejido muscular cardíaco, otorga volumen al corazón y es responsable de la acción de bombeo; y por último el endocardio, una capa fina interna que tapiza las cámaras cardíacas formando una pared lisa y recubre la válvulas cardíacas. Tiene cuatro cámaras: dos aurículas y dos ventrículos, derechos e izquierdos. La aurícula derecha recibe sangre de tres venas: la vena cava superior, la vena cava inferior y el seno coronario, la sangre pasa desde la aurícula derecha hacia el ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide, del ventrículo derecho la pasa a través de la válvula pulmonar, hacia el tronco pulmonar; la aurícula izquierda recibe la sangre proveniente de los pulmones a través de cuatro venas pulmonares, siendo la aurícula izquierda la mayor parte de la base del corazón, la sangre pasa al ventrículo izquierdo a través de la válvula mitral; en el ventrículo izquierdo la sangre pasa a través de la válvula aórtica hacia la aorta ascendente.

Las válvulas se abren y cierran en respuesta a los cambios de presión, a medida que el corazón se contrae y relajan. Las válvulas mitral y tricúspide, reciben el nombre de válvula auriculoventriculares o atrioventriculares (AV) y las válvulas aórtica y pulmonar también se conocen como válvulas semilunares (SL); permiten la eyección de la sangre desde el corazón a las arterias. Las válvulas SL se abren cuando la presión ventricular excede a la presión arterial, permitiendo la eyección de la sangre desde los ventrículos hacia el tronco pulmonar y la aorta. Las cuatro válvulas contribuyen a establecer el flujo en un solo sentido, abriéndose para permitir el paso de la sangre y luego cerrándose para prevenir el reflujo.

III.3.2.1.- Sistema de conducción

Las fibras automáticas son una red de fibras musculares cardíacas especializadas que forman el sistema de conducción y permite que el corazón pueda latir, debido a que son autoexcitables.

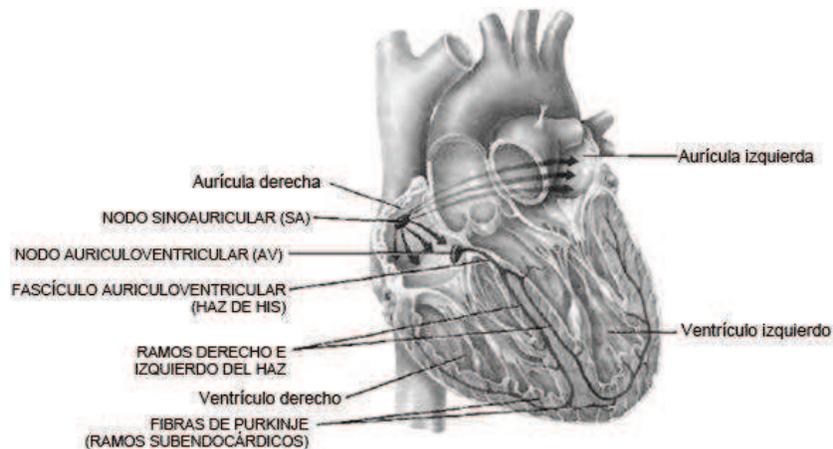


Imagen III.3.2.1.- Sistema de conducción cardíaco [a]

Se despolarizan y generan potenciales de acción en forma repetitiva que disparan las contracciones cardíacas. Los potenciales de acción cardíacos se propagan a lo largo del sistema de conducción comenzando en el nodo sinoauricular (SA), localizado en la aurícula derecha, la despolarización espontánea es un potencial marcapasos y cuando esta alcanza el umbral, se desencadena un potencial de acción, este se propaga a través de ambas aurículas, las cuales se contraen. El potencial de acción llega al nodo AV, después se dirige al haz de His, luego llega a las ramas derecha e izquierda y finalmente las fibras de Purkinje conducen rápidamente el potencial

de acción desde el vértice cardíaco hacia el resto del miocardio, los ventrículos se contraen, empujando la sangre hacia las válvulas SL.

III.3.2.1.- Potenciales de acción en el músculo cardíaco

El potencial de acción en una fibra muscular ventricular es en promedio de aproximadamente 105 mV, lo que significa que el potencial intracelular aumenta desde un valor muy negativo, de aproximadamente -85 mV, entre los latidos, hasta un valor ligeramente positivo, aproximadamente 20 mV, durante cada latido. Después de la espiga inicial la membrana permanece despolarizada durante 0.2 segundos, mostrando una meseta, seguida al final de la meseta de una repolarización súbita.

- **Período de contracción**

En la sístole auricular, con una duración de 0.1 s, las aurículas se contraen y los ventrículos están relajados. La despolarización del nodo SA causa la despolarización auricular, lo que produce la sístole auricular, a medida que la aurícula se contrae, ejerce presión sobre la sangre contenida en su interior, impulsándola hacia los ventrículos a través de las válvulas AV abierta, el final de la sístole auricular también es el final de la diástole ventricular.

En la sístole ventricular, los ventrículos se contraen y las aurículas están relajadas, durante 0.3 s, la despolarización ventricular determina la sístole ventricular. Cuando comienza, la presión en el interior de los ventrículos aumenta e impulsa la sangre contra las válvulas AV, forzando su cierre. Durante 0.5 s, las válvulas SL y AV se encuentran cerradas, se denomina periodo de contracción isovolumétrica. La contracción continua de los ventrículos provoca un rápido aumento de la presión dentro de ellos, cuando la presión del ventrículo izquierdo sobrepasa la presión aórtica, 80 mmHg, y la presión del ventrículo derecho se eleva por encima de la presión del tronco pulmonar de 20 mmHg ambas válvulas SL se abren, a esto se le llama eyección ventricular, con una duración de 0.25 s. La presión en el ventrículo izquierdo continua aumentando hasta 120 mmHg y en el ventrículo derecho llega hasta a 30 mmHg. El ventrículo eyecta sangre dentro de la aorta y el derecho en el tronco pulmonar.

- **Periodo de relajación**

Está formado por: la relajación ventricular isovolumétrica y llenado ventricular pasivo; tiene una duración de 0.4 s, las aurículas y ventrículos se encuentran relajados. La repolización ventricular determina la diástole ventricular, el periodo de relajación isovolumétrica es el pequeño intervalo en el que el volumen ventricular no varía debido a que todas las válvulas están cerradas. Cuando la presión ventricular cae por debajo de la presión de las aurículas, las válvulas AV se abren y comienza el llenado ventricular.

III.3.2.2.- Frecuencia cardiaca

Se define como el número de latidos o contracciones del corazón por minuto, la frecuencia puede variar significativamente de persona a persona, es uno de los valores más importantes en el monitoreo del paciente, para un adulto se considera un rango normal de 60 a 100 latidos/min, este valor es característico en cada persona y para diferentes situaciones.

III.3.2.3.- Gasto cardiaco

También conocido como volumen minuto (VM), es la cantidad de sangre eyectada por minuto por el ventrículo izquierdo hacia la aorta, o por el ventrículo derecho hacia el tronco pulmonar.

III.3.3.- Los vasos sanguíneos

Son un sistema cerrado de conductos que transportan sangre del corazón a los tejidos y de regreso al corazón, el flujo sanguíneo a través de los vasos se debe principalmente a la fuerza proporcionada por el bombeo cardíaco.

Los principales tipos de vasos sanguíneos son: las arterias, que transportan la sangre, realizan la importante función de ayudar a la propulsión de la sangre hacia delante mientras los ventrículos se están relajando; y las arterias musculares o arterias de distribución son capaces de una mayor vasoconstricción y la vasodilatación, para ajustar la tasa del flujo sanguíneo, distribuyen la sangre a las diferentes partes del organismo. Las arteriolas, son arterias muy pequeñas, conducen la sangre a los capilares, desempeñan un papel clave en la regulación del flujo sanguíneo desde las arterias hacia los capilares regulando la oposición al flujo sanguíneo.

Los capilares, son vasos sanguíneos microscópicos a través de los cuales se intercambian nutrientes y desechos entre la sangre y las células tisulares, por lo cual se conocen como vasos de intercambio; se dividen para formar una extensa red a través de los tejidos que incrementa la superficie disponible para un intercambio rápido. Conecta las arteriolas con las vénulas, las vénulas, son pequeños vasos que continúan a los capilares y se unen formando las venas, recogen la sangre de los capilares y la envían hacia las venas.

III.3.3.1.- Vías Circulatorias

Los vasos sanguíneos están organizados dentro de vías circulatorias que conducen a la sangre a órganos específicos en el cuerpo. Son dos las principales vías circulatorias:

- **Circulación Sistémica**

Incluye a las arterias y arteriolas que conducen sangre oxigenada desde el ventrículo izquierdo hacia los capilares sistémicos, más las venas y vénulas que devuelven la sangre desoxigenada a la aurícula derecha. La sangre que abandona la aorta y que fluye a través de las arterias sistémicas es de color rojo brillante, mientras que la sangre fluye a través de los capilares, pierde algo de su oxígeno y capta CO₂, volviéndose de color rojo oscuro. Todas las arterias sistémicas se originan en la aorta. Completando el circuito, todas las venas de la circulación sistémicas drenan en la vena cava superior, la vena cava inferior o el seno coronario, que a su vez llegan a la aurícula derecha. Las arterias bronquiales, que transportan nutrientes hacia los pulmones, también son parte de la circulación sistémica.

- **Circulación pulmonar**

Transporta sangre desoxigenada desde el ventrículo derecho a los alvéolos pulmonares y devuelve sangre oxigenada desde los alvéolos a la aurícula izquierda. El tronco pulmonar emerge del ventrículo derecho y sigue un trayecto superior, posterior e izquierdo. Luego se divide en dos ramas: la arteria pulmonar derecha que se dirige al pulmón derecho y la arteria pulmonar izquierda que se dirige al pulmón izquierdo. Al entrar al pulmón, las ramas se dividen y subdividen hasta finalmente formar capilares alrededor de los alvéolos dentro de los pulmones. El CO₂ pasa desde la sangre a los alvéolos y es espirado, el O₂ inspirado pasa desde el aire que ingresa a los pulmones a la sangre, los capilares se unen formando vénulas y luego las venas pulmonares, que salen de los pulmones llevando la sangre oxigenada a la aurícula izquierda. Dos venas pulmonares derecha y dos izquierdas entran en la aurícula izquierda. Las concentraciones del ventrículo izquierdo eyectan la sangre oxigenada a la circulación sistémica.

CAPÍTULO IV

Máquina de Anestesia y Monitor de Signos Vitales

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallarán los componentes y funciones de la máquina de anestesia y del monitor de signos vitales. No obstante, la existencia de las estaciones de anestesia, las cuales cuentan con el sistema de monitorización de signos vitales incluido, en este capítulo se tratará el sistema de anestesia como dos subsistemas con el fin de mostrar de manera más detallada cada una de ellas. La siguiente información se basa principalmente en: la *Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia*, y las *Cédulas de Especificaciones Técnicas de las Unidades de Anestesia: Básica, Intermedia y de Alta Especialidad*; todas de CENETEC-Salud.

IV.1.- FISIOLÓGÍA Y ANESTESIA

La anestesia deprime al SNC, evitando que las señales de dolor que viajan desde la médula espinal hasta el cerebro sean bloqueadas temporalmente, a un grado suficiente para una intervención quirúrgica, sin embargo, se producen alteraciones importantes de las funciones respiratoria y cardiovascular. Por ejemplo, la respiración es producida por medio de la contracción y relajación cíclica de los músculos respiratorios controlados por grupos de neuronas, los músculos respiratorios están bajo el control voluntario de la corteza motora que tiene conexiones con el centro involuntario, desde donde salen tractos nerviosos por la médula espinal que llevan el estímulo nervioso para el movimiento coordinado e integrado de la musculatura respiratoria. Se ve principalmente afectado en: pérdida y disminución de los reflejos de protección de la vía aérea; depresión del centro respiratorio y disminución de los volúmenes pulmonares; por lo cual, los pacientes sometidos a anestesia general deberán ser apoyados parcial o totalmente en la ventilación.

La anestesia general produce cambios hemodinámicos, que producen diferentes alteraciones, entre las que se encuentra: vasodilatación, la cual produce una disminución de la presión arterial; depresión del miocardio, ya sea en la frecuencia cardiaca o contractilidad del corazón; disminución del gasto cardiaco, relacionado a la alteración de la frecuencia cardiaca; aumento de arritmias y disminución del control de barorreceptores; por consiguiente, es importante monitorizar las funciones vitales del paciente, antes, durante y después de la anestesia.

IV.2.- MÁQUINA DE ANESTESIA

La máquina de anestesia suministra de manera segura, adecuada, programada y de forma continua o intermitente la administración de oxígeno, gases medicinales y agentes anestésicos; permite la ventilación espontánea como controlada de manera manual o automática, al paciente: neonatal, pediátrico y adulto. Además de administrar anestesia y controlar su profundidad, maneja por completo la respiración del paciente, monitoriza todas las variables respiratorias y su propio funcionamiento. La máquina de anestesia es la combinación de la mecánica, ingeniería y electrónica, donde podemos encontrar una combinación de principios neumáticos, eléctricos, electrónicos y computacionales.

A pesar de que sus características, funcionamiento e indicaciones sean distintas, dependiendo del fabricante y entre modelos, en todos ellos podemos encontrar una estructura común, compartiendo los mismos componentes básicos, como se muestra a continuación.

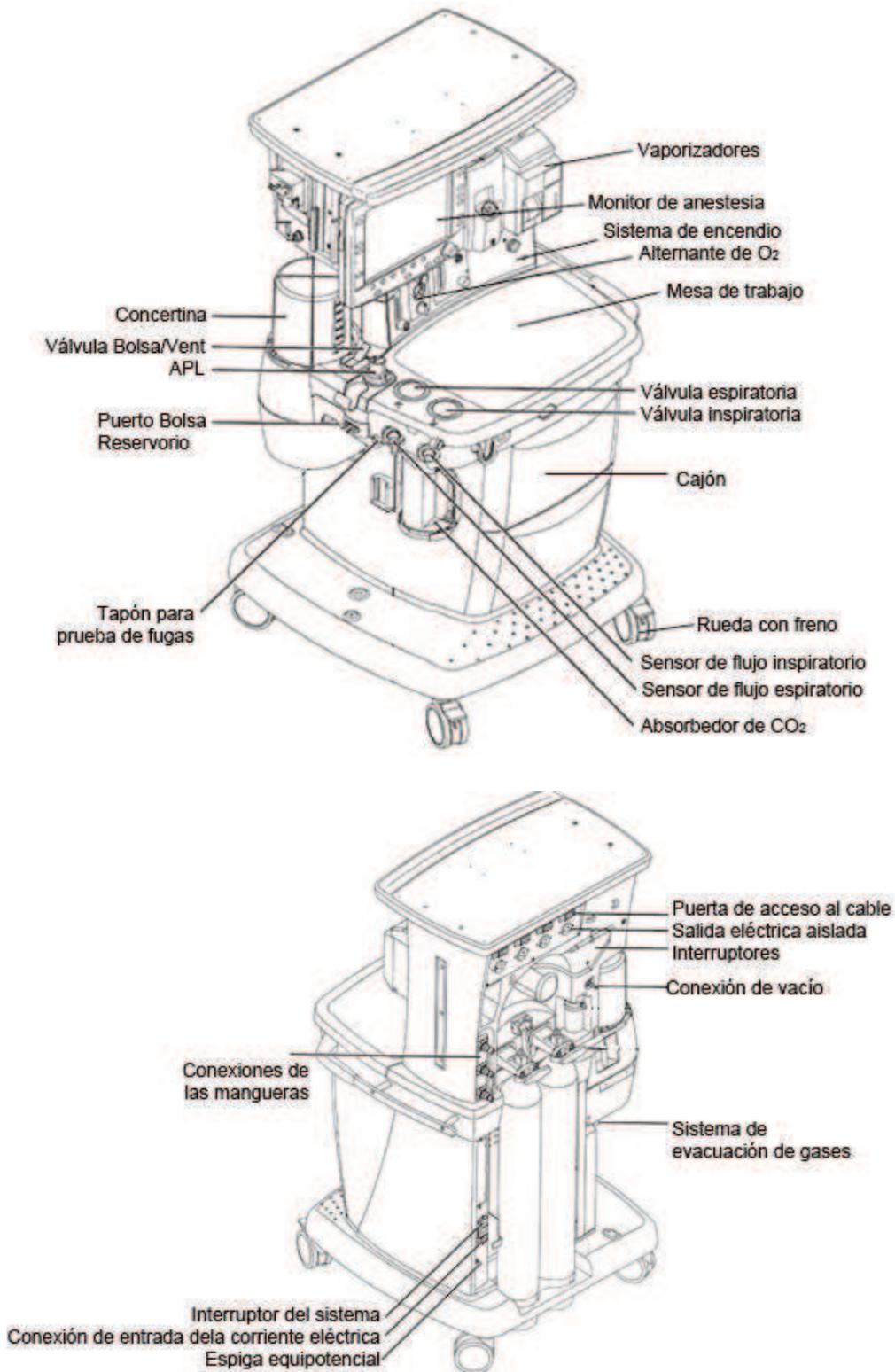


Imagen IV.2.1.1- Componentes de la Estación de Anestesia Avance de GE, vista frontal y posterior [9]

IV.2.1.- Sistema de control para suministro de gases

Los hospitales cuentan con dos fuentes para la administración de gases, el primero es un sistema de tubería proveniente de la central de gases intrahospitalarios, desde allí son transportados por tuberías especiales hasta el interior del hospital; el segundo es el uso de cilindros, los cuales servirán como una fuente de emergencia cuando la primera falle, son recipientes usados para almacenar gases a alta presión. Los gases que se utilizan en anestesia son: O₂, óxido nitroso (N₂O) y aire; estos deben suministrarse de manera y presión adecuada, los cuales llegan a las máquinas de anestesia por medio de mangueras de caucho, no colapsables, no compresibles y lo suficientemente largas para evitar tensiones excesivas.

El suministro de gases, se puede definir como el sistema de alta presión de la máquina de anestesia, el cual va desde el abastecimiento de gases hasta los flujómetros. Para hacer uso de los gases de manera segura para el paciente y la máquina, se emplean los reguladores de presión, los cuales, como su nombre lo dice, reduce una presión alta a una presión baja de trabajo, permitiendo la expansión del gas comprimido a presión baja y a velocidad constante para satisfacer las demandas dentro de su capacidad. Los manómetros nos permitirán observar la presión de los gases que ingresan a la máquina de anestesia, los cilindros suelen tener dos manómetros; el más cercano mide la presión del gas en el interior y el otro la presión reducida o de trabajo.

Todo el sistema de distribución de los gases: cilindro, llaves, tuberías, mangueras, etc., deberán estar codificado, en México se utiliza el código de colores aceptado en EUA; las conexiones entre la fuente del gas y la máquina de anestesia son exclusivas de cada gas, evitando de esta manera una conexión errónea. En la tabla siguiente se muestran las especificaciones de cada gas, así como su función y código de color (CDC) para la máquina de anestesia.

Gas	Función-Uso	CDC
OXÍGENO	Proporcionar la totalidad o una parte del flujo de gas (FiO ₂) Aportar gas para el flujo rápido de oxígeno (válvula flush) Accionar la alarma de presión de oxígeno bajo. Accionar el ventilador. Proporcionar alarma de mezclas hipóxicas con otros gases.	Verde
ÓXIDO NITROSO	Es anestésico cuando se usa en altas concentraciones, mayores del 70%, y analgésico en concentraciones más bajas. Su mezcla con oxígeno permite balancear una anestesia.	Azul
AIRE	Permite disminuir la FiO ₂ , con lo que se disminuyen los efectos nocivos de éste, en altas concentraciones.	Amarillo

Tabla IV.2.1.1.- Gases, funciones, usos y códigos de colores.

IV.2.1.1.- Flujómetros

Es el componente que mide el flujo de gas entre la salida de la máquina y el paciente, se encuentran ubicados enfrente de la máquina, cada flujómetro está construido para un gas específico y no son intercambiables con otros, solo miden con precisión el gas para el que se han calibrado explícitamente, siguen el código de colores americano. Por lo general, cuando se tiene dos flujómetros para cada gas, el primero debe asegurar la medición de los flujos bajos, hasta 1 lpm; y el segundo será para los flujos altos, hasta de 10 a 12 lpm; controlados por el mismo mando.

Existen 3 tipos fundamentales:

- Flotador, también llamados tubos de Thorpe o de orificio variable, poseen una forma cónica en su interior, su diámetro va aumentando desde la base hacia arriba; está

compuesto por un tubo graduado, una válvula reguladora, y un flotador, el cual permanece suspendido debido a la presión constante.

- Paleta, o Gauthier son de orificio constante y presión variable; están formados por una cámara redonda, donde la entrada de gas se puede medir por el movimiento de la paleta.
- Electrónicos, los cuales miden el flujo por la variación de la temperatura, registrada por un sensor térmico situado en el centro de la corriente de gas.

IV.2.1.2.- Guarda hipóxica

Es un sistema de protección mecánico, neumático o electrónico, asociado a los flujómetros, garantiza siempre una concentración mínima del 25% de O₂ en el flujo de gases frescos que van hacia el paciente independientemente del manejo que se le den a los flujómetros, con el fin de evitar un aporte inadecuado de O₂.

IV.2.1.3.- Flush de O₂

También llamada válvula de purgado de O₂, aporta gas para el flujo rápido de O₂, se comunica directamente con la salida común de los gases y al ser activada, libera un flujo alto de oxígeno al sistema respiratorio de 35-75 lpm. El flush puede usarse cuando de manera urgente se necesita llenar el circuito de oxígeno, debido a que este flujo no ha pasado por los vaporizadores, puede alterar las concentraciones de los agentes anestésicos.

IV.2.1.4.- Alternante de O₂

No es una fuente auxiliar de O₂, el O₂ circula a través del control de O₂ alternativo hasta el sistema de respiración y se usa para suministrar agente y O₂ por una ruta neumática distinta al circuito del paciente. El O₂ alternativo se conecta al suministro de O₂ del sistema, contará con botón de activo/desactivado, flujómetro o tubo de control y mando de control.

IV.2.1.5.- Mezclador de gases

Como su nombre lo indica, es el encargado de suministrar una mezcla de dos gases, provenientes de tres entradas de gas independientes, solo se permite el funcionamiento simultáneo de dos gases diferentes, uno de ellos será siempre el oxígeno, siendo las mezclas comunes las de O₂-N₂O y O₂-Aire. En la siguiente tabla se puede observar las características del sistema de suministro de gases (SDG) entre diferentes tipos de máquinas de anestesia.

SDG	Básica	Intermedia	Alta especialidad
Flujómetros	Neumáticos dobles para O ₂ y N ₂ O. Neumático sencillo o doble para aire.	Neumáticos dobles o electrónicos con despliegue para O ₂ , N ₂ O y aire	Virtual para cada gas, con representación gráfica y numérica.
Guarda hipóxica	23%.	23%.	25%.
Flush de O ₂	✓	✓	✓
Alternante de O ₂	x	x	✓
Mezclador	x	Neumático o electrónico	Electrónico

Tabla IV.2.1.2.- Tabla comparativa del sistema de suministro de gases entre las Cédulas de Especificaciones Técnicas del Cenetec-Salud [1], [2] y [3]

IV.2.2.- Vaporizadores

El paso a seguir de los gases administrados es hacia los vaporizadores, los cuales tienen la función de transformar un agente anestésico líquido en vapor anestésico. Los anestésicos inhalados son agentes en estado líquido a temperatura ambiente y presión atmosférica, por lo que este debe evaporarse para agregarlo a la corriente de gas en un porcentaje preciso, para ser

administrado al paciente a través del circuito respiratorio, debe ser entregado con una concentración precalibrada deseada, es manipulado a través de una perilla o botón premarcado. La vaporización del anestésico líquido depende principalmente de la presión de vapor, calor latente de vaporización, calor específico, temperatura, presión atmosférica y conductividad térmica. El sistema anestésico de ventilación, posibilitan la administración de gases más vapor anestésico desde la máquina de anestesia hacia el paciente.

Los vaporizadores modernos de uso clínico actual son vaporizadores de arrastre, de cortocircuito variable, específicos para cada agente inhalatorio y colocados fuera del circuito respiratorio, conectado únicamente al paso de gas fresco, ya que de otro modo, en condiciones de reinhalación, el paso repetido del aire espirado a través del vaporizador añadiría más agente anestésico a la mezcla de gases, lo que produciría variaciones incontrolables en la concentración en la mezcla de gases inspiratorios. Sus componentes incluyen: un dial regulador, cámara de vaporización, cámara de bypass y entrada de líquido anestésico con su cierre, para verter el contenido del frasco de agente anestésico; con un sistema de seguridad, el cual evita que dos vaporizadores se abran al mismo tiempo; además de un visor de vidrio prismático que funge como indicador de llenado. Las unidades de anestesia deberán suministrar dos vaporizadores a elección.

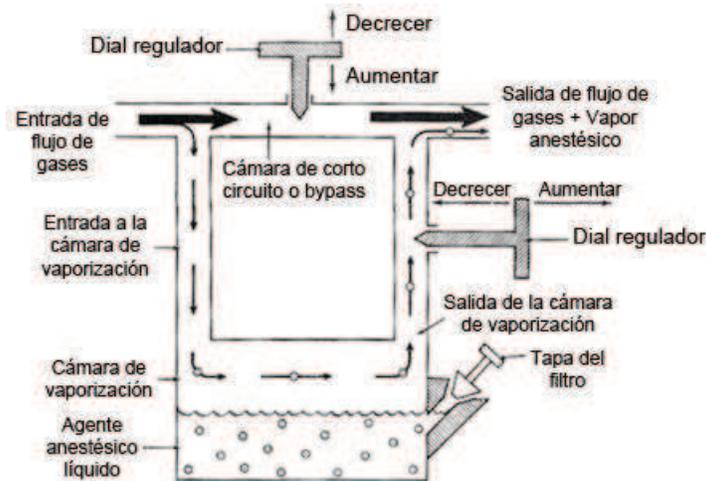


Imagen IV.2.2.1.- Funcionamiento del vaporizador [1]

El término bypass variable hace referencia al modo de regulación de la concentración de vapor de agente halogenado a la salida, como se muestra en la imagen IV.2.2.1, está compuesto por un dial que controla dicha concentración y regula la cantidad de gas que pasa por el cortocircuito y la cámara de vaporización. El flujo de gas fresco que ingresa al vaporizador, llega desde los flujómetros, ingresando por la boca de entrada, se divide en dos partes: en la primera el flujo pequeño pasa a través de la cámara de vaporización donde es enriquecida o saturada con vapor de anestésico líquido que se está continuamente vaporizando; en la segunda, el flujo mayor atraviesa directamente la cámara de corto circuito o canal de bypass sin enriquecerse con vapor y es mezclado con el que sale de la cámara, resultando en la concentración deseada. Los flujos parciales de gas a cada cámara dependen de la relación de resistencias entre la vía de la cámara de cortocircuito y la vía de la cámara de vaporización; un cambio en el ajuste del dial de la concentración provoca un cambio en la resistencia, alterando la relación de los dos flujos de gas. Los vaporizadores son calibrados para un gas anestésico determinado, pero no varían en su estructura interna.

Los vaporizadores modernos poseen compensación de temperatura, flujo y presión, lo que permite un rendimiento lineal a pesar de las variaciones. La compensación de temperatura mantiene una salida del vaporizador constante en un margen amplio de temperaturas, por lo cual para la construcción de vaporizadores se hace uso de cobre, debido a la capacidad de conductividad térmica de este metal, que permite mantener una temperatura constante. Deberá contar con un mecanismo automático que entregue concentración constante, independientemente del flujo de gas a través del vaporizador, para proporcionar un flujo compensado. Durante la vaporización el anestésico líquido se enfría, lo que produce que la presión de vapor saturado disminuya, al igual que el anestésico liberado del vaporizador, cuando el flujo más pequeño se desvía hacia la cámara de vaporización puede sufrir de variaciones de presión y los cambios de presión en oscilación pueden influir sobre la concentración final del anestésico que sale del vaporizador, el uso de un compensador de presión ayuda a eliminar dichas variaciones.

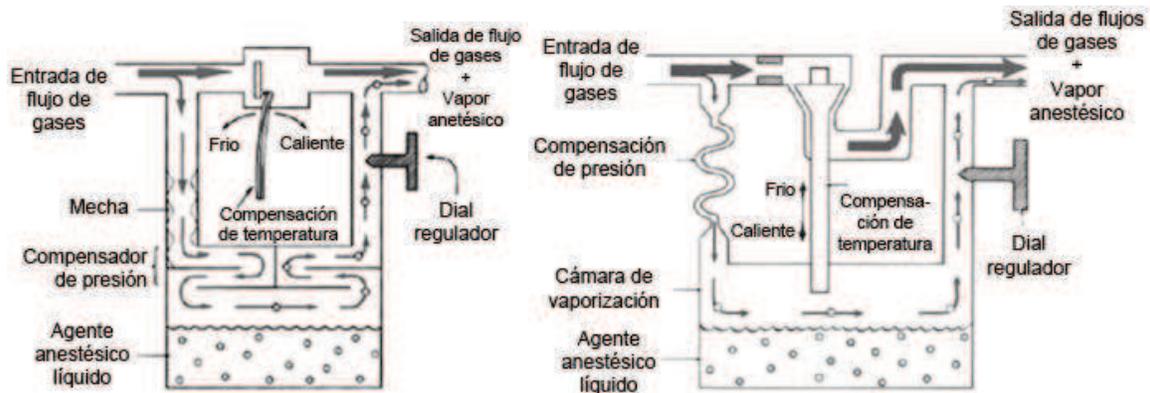


Imagen IV.2.2.2.- Ejemplo de vaporizadores con compensadores de temperatura y presión [1]

Los vaporizadores están diseñados para un agente inhalatorio específico y deberán ser de la misma marca y modelo del equipo de anestesia, en caso de ser llenado por el anestésico incorrecto, podrían liberarse sobredosis o dosis inferiores. Los vaporizadores modernos tienen código de color y algunos de ellos cuentan con dispositivos para el llenado específico para cada vaporizador y cada líquido anestésico. Los anestésicos inhalatorios volátiles se encuentran en estado líquido por debajo de los 20°C, el cambio de fase líquida a vapor genera presión de vapor saturado, el punto de ebullición, es la temperatura a la que la presión de vapor iguala a la atmosférica son:

- Isoflurano 48.5°
- Halotano 50.2°
- Sevoflurano 58.5°
- Enflurano 56.5°
- Desflurano 22.8°

Se hace uso de un vaporizador de inyección de vapor con flujo de vapor controlado, para el agente anestésico desflurano, debido a sus características físicas particulares. Es extremadamente volátil, con un punto de ebullición de 22.8 °C a presión atmosférica, lo que produce problemas respecto a su vaporización y producción de una concentración de vapor controlada. En la imagen IV.2.2.3, se pueden observar dos circuitos independientes de gas: el circuito de gas fresco, de color gris y el circuito del vapor anestésico de color blanco, donde el gas fresco entra al vaporizador y pasa por un reductor de flujo abandonando el vaporizador por el orificio de salida,

mientras que el sistema calentador, el desflurano está siendo calentado eléctricamente y controlado termostáticamente a 39 °C.

En la cámara de vaporización la presión de vapor en el recipiente es de 1460 mmHg, por medio de transductores de presión y control electrónico, se mantiene la presión en el circuito del vapor de desflurano al mismo nivel que la presión en el circuito del gas fresco. El vapor producido es inyectado al gas vector a través de un regulador controlado electrónicamente, es decir, el gas fresco no entra en la cámara de vaporización, sino que se mezcla con el vapor inyectado inmediatamente antes de llegar a la salida de gas anestésico en la proporción correspondiente al porcentaje fijado en el dial. Por lo que si el flujo de gas fresco aumenta, la presión en su circuito también lo hará.

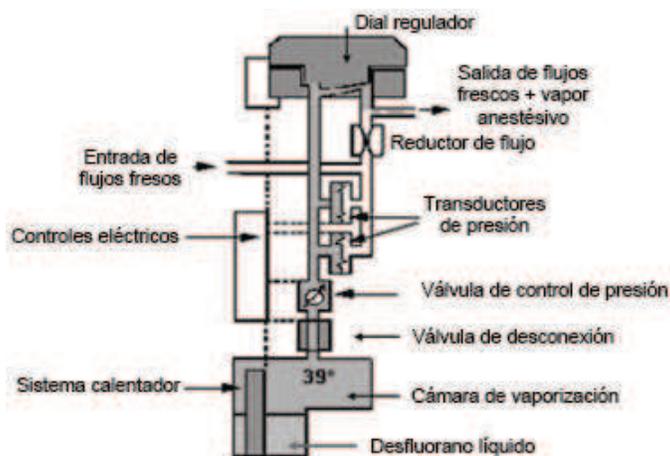


Imagen IV.2.2.3.- Ejemplo de vaporizador para desflurano [1]

IV.2.3.- Circuito de ventilación y respiración

La ventilación aporta lo indispensable y suficiente para mezclar y dosificar: aire, O₂, N₂O y vapores anestésicos; brinda ventilación al paciente y elimina los gases de desecho como el CO₂ y vapores anestésicos.

IV.2.3.1.- Ventilador

Si bien el ventilador forma parte del sistema respiratorio de la máquina de anestesia, se tratará por separado con el fin de exponerlo de manera más detallada, para que posteriormente vuelva a ser mencionado. Es el componente encargado de proporcionar temporalmente ventilación controlada artificial, sustituyendo la función pulmonar normal. Son controlados por microprocesadores, lo que permite agregar modos ventilatorios y actualizaciones de software y hardware. Es el sistema capaz de crear presión sobre un gas de forma que pueda aparecer un gradiente de presión entre él y el paciente. Se clasifica según:

- Fuente de energía
- Mecanismo impulsor
- Mecanismo de ciclado

La fuente de energía, puede ser eléctrica, gas comprimido o ambos; tiene dos tipos de mecanismo impulsor: uno mecánico, con un sistema tipo pistón controlado por computadora, u otro por gas o aire; que pueden ser ciclados por tiempo, presión, volumen o flujo. Existe una amplia diversidad de diseños por parte de los distintos fabricantes, por lo cual se pueden encontrar notables diferencias

funcionales entre ellos. La preparación del ventilador debe ser realizada previa a la conexión del paciente a este, idealmente previo incluso a la manipulación de la vía aérea. El ventilador anestésico debe cumplir con una función primordial, la cual abarca la insuflación intermitente alterna de una mezcla gaseosa en las vías aéreas del paciente, mediante un generador de presión. Hay dos tipos principales de ventiladores, el que readministra los gases espirados y el que no. Los que reutilizan los gases espirados cuentan con un circuito circular, el ventilador puede tener un circuito doble o único.

Los ventiladores tipo doble circuito, están integrados a la máquina de anestesia y es el circuito circular el que permite la reinhalación de los gases espirados, se les nombra también compresores neumáticos de balón o de concertina. En la siguiente imagen se pueden observar los dos circuitos que lo forman: a) circuito primario o circuito motor, constituido por una carcasa rígida, hermética y transparente; es aquella que contiene a la cámara colectora; b) circuito secundario, compuesto por, el circuito de paciente.

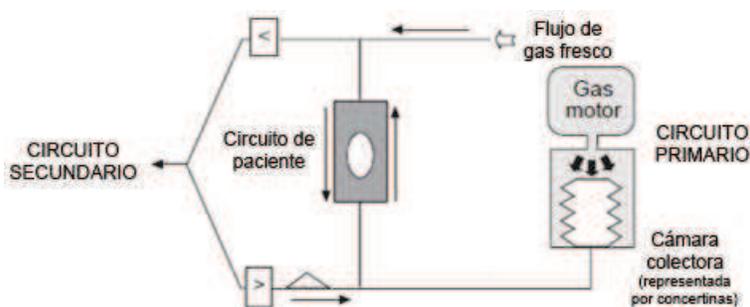


Imagen IV.2.3.1.- Esquema general de los ventiladores de anestesia tipo doble circuito [7]

Durante la insuflación, la presión en la carcasa aumenta rápidamente debido a la inyección en su interior de un gas altamente presurizado, la fuente motriz de la insuflación es siempre de manera neumática y este gas recibe el nombre de gas motor. Debido a eso, la cámara colectora es comprimida hasta vaciarse, lo que genera una presión positiva necesaria para insuflar la mezcla gaseosa recogida en su interior hacia las vías aéreas del paciente, el gas motor puede ser oxígeno o aire medicinal. Durante la espiración, el gas motor es expulsado a la atmósfera a través de una válvula de escape, que permanece cerrada durante la fase inspiratoria.

Son los ventiladores tipo circuito único, como lo indica su nombre solo tiene un circuito, el secundario o del paciente; la cámara colectora, la cual puede ser una concertina o un cilindro con pistón, la cual es accionada directamente por un motor eléctrico o neumático. Tiene los componentes del circuito del paciente, pero además estos sistemas poseen: una bolsa reservorio con una válvula de escape del gas excedente, llamada válvula APL y una válvula de aislamiento del balón reservorio, además de una válvula independiente de admisión de aire ambiente.

Los ventiladores que no readministran los gases espirados, son los llamados adaptados a anestesia, en los cuales la mezcla de gas está presente a una presión superior a la atmosférica. Su circuito no permite la reinhalación, y cuentan con un segmento inspiratorio y otro espiratorio con válvulas unidireccionales en su interior. En este tipo de ventilador, el gas llega al generador que lo insufla al paciente a una frecuencia y volumen constante.

IV.2.3.2.- Modos de ventilación

Una ventilación puede definirse por la presencia de flujo inspiratorio positivo en combinación con flujo espiratorio negativo. Es una ventilación controlada si el ventilador determina el proceso

respiratorio, es decir, la inspiración y espiración; la ventilación mecánica es la encargada de aportar al paciente una ventilación que cubra sus necesidades, evitando un daño pulmonar, un deterioro circulatorio o una asincronía con el ventilador. El modo de ventilación es la manera en que un ventilador interacciona con el paciente para lograr estas metas. Un ventilador mecánico solo puede controlar en cada momento una de las tres variables, ya sea, presión, volumen y flujo. Con el desarrollo de los ventiladores controlados por microprocesador, han surgido nuevos modos ventilatorios, algunos de ellos exclusivos de cada fabricante, sin embargo, los modos ventilatorios convencionales continúan siendo los más utilizados, y el resto se reservan para situaciones específicas.

Controlado por Volumen

Se denomina controlado por volumen, pero en realidad el ventilador controla el flujo inspiratorio, por lo tanto, el flujo inspiratorio y el volumen circulante son programados por el usuario y son constantes, suministrando un volumen corriente o tidal (VC) establecido. En la imagen IV.2.3.2, se observa el modo de control por volumen, la primera gráfica muestra la relación entre la Presión de las Vías Áreas (Pva) y el Tiempo; mientras que en la segunda se muestra el Flujo con relación al Tiempo.

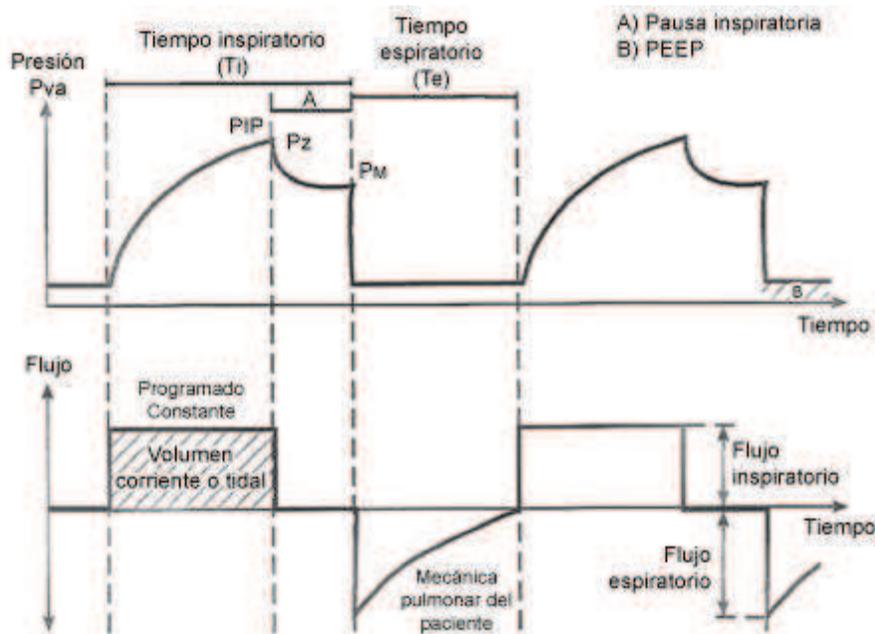


Imagen IV.2.3.2.- Curvas del modo de control por volumen [9]

En ambas se puede apreciar el tiempo inspiratorio y espiratorio, además de la pausa inspiratoria, en la primera se observan las siguientes presiones: Presión Inspiratoria Pico (PIP), la cual es, la presión positiva generada por el ventilador en una vía aérea abierta; Pz, es el valor de la presión cuando se cierra la válvula espiratoria y el flujo se detiene, dicha caída se debe al cierre de la vía aérea después de la insuflación, es una caída rápida de la PIP en su valor inicial pico a un valor inicial mínimo; Pz, a este intervalo se le llama pausa inspiratoria y sigue una bajada gradual hasta llegar a su valor más bajo o meseta; la Presión Meseta o Pplateau (PM o Pplat), se produce cuando finaliza el flujo al final de la inspiración y la válvula espiratoria permanece cerrada.

Presión Positiva al Final de la Inspiración (PEEP), es una técnica mecánica en la que se agrega una cantidad de presión en los pulmones al final de cada respiración, debido a que el proceso de

ventilación produce un grado de desinsuflación en los pulmones durante las respiraciones, los pulmones contienen menos aire que el habitual, y al agregar presión positiva se intenta reinsuflar las vías respiratorias.

En la segunda gráfica se observa una señal cuadrada, que representa el VC. El ventilador solo ingresa el volumen de un gas a los pulmones, por lo tanto, la espiración es un proceso pasivo; por esta razón el flujo espiratorio es dependiente de la contracción elástica de los pulmones, y de la resistencia de la vía aérea. La forma de la curva del flujo espiratorio es similar en todos los modos ventilatorios.

Controlado por Presión

Suministra el pico de presión que debe alcanzar el ventilador durante la inspiración, por lo tanto, la presión es constante, mientras que el VC no es fijo y depende de las características del sistema respiratorio, el flujo varía de acuerdo con el nivel de presión establecido. En la imagen IV.2.3.3, se observan dos gráficas, en la primera se observa la relación entre Pva y Tiempo, mientras que en la segunda se muestra el Flujo con relación al Tiempo.

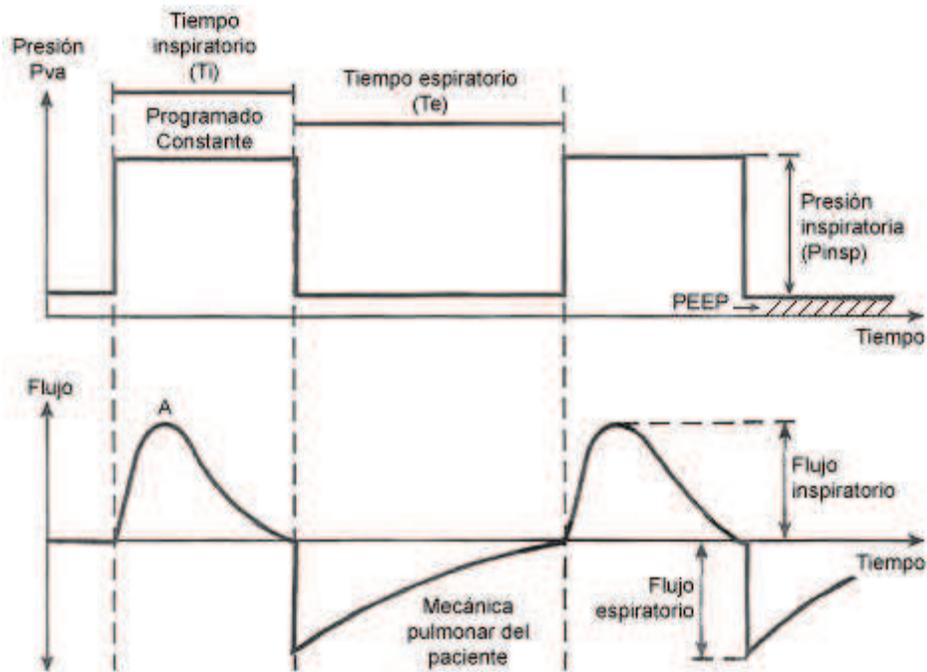


Imagen IV.2.3.3.- Curvas del modo de control por presión [9]

En la primera gráfica se observa una señal cuadrada que corresponde a la Presión Inspiratoria, la cual es constante por ser programada por el usuario, el tiempo inspiratorio es otro parámetro fijado en el ventilador, también se contempla la PEEP en la curva; en la segunda gráfica, el flujo inspiratorio está formado por una curva; al inicio de la inspiración hasta el punto A, se muestra el ascenso inicial hasta el flujo inspiratorio máximo, del punto A, al final de inspiración, indica el flujo decreciente durante la inspiración. El flujo espiratorio es parecido al expuesto anteriormente y corresponde a la mecánica pulmonar del paciente; empieza con el fin de la inspiración, es decir, el inicio de la espiración, hasta alcanzar el flujo espiratorio máximo; por último se muestra un flujo decreciente durante la espiración hasta que llega al punto donde se inicia la inspiración nuevamente.

Ventilación Mandataria Intermitente Sincronizada (SIMV)

La SIMV combina la ventilación controlada con la ventilación espontánea, permitiendo al paciente intercalar ciclos con el ventilador. El ventilador proporciona ciclos ventilatorios mandatorios, controlados por volumen o presión, a una frecuencia predeterminada, pero permite que se intercalen ciclos espontáneos entre los mandatorios, por lo tanto, la ventilación mandatoria es suministrada en sincronía con el esfuerzo inspiratorio del paciente, si es detectado por el ventilador durante un periodo de tiempo o ventana de disparo; y si no es así, el ventilador proporciona una ventilación controlada.

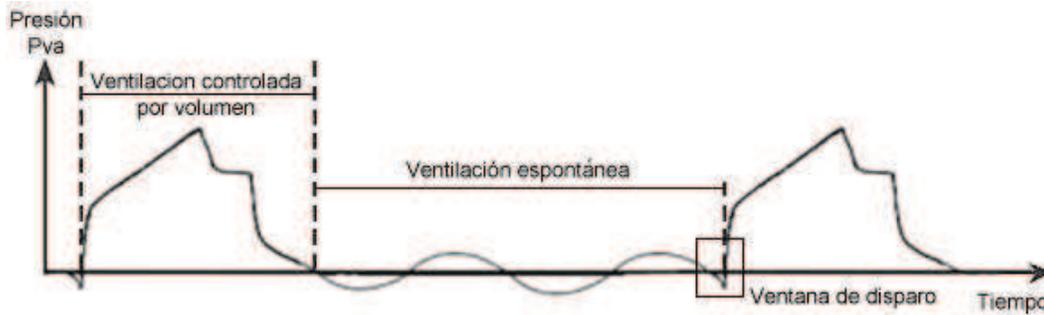


Imagen IV.2.3.4.- Ventilación mandataria intermitente sincronizada. Controlada por volumen [7]

Presión Soporte

En este modo, el usuario establece los niveles de presión de soporte, mientras que el paciente establece la frecuencia, el flujo inspiratorio y el tiempo inspiratorio.

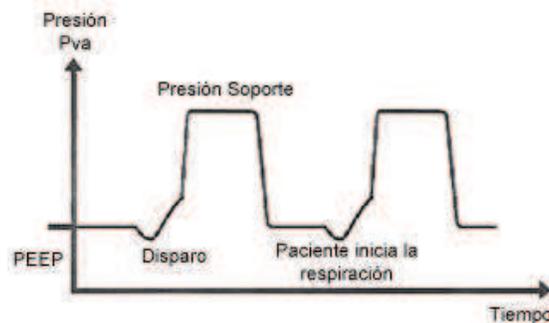


Imagen IV.2.3.5.- Ventilación con soporte presión [7]

Brinda una ventilación en la cual el ventilador genera y aplica una presión inspiratoria programada, es decir, constante, en la vía aérea, por lo cual es controlada por presión, dicha presión asiste el esfuerzo inspiratorio, por lo que se denomina respiración soportada. El paciente dispara y cicla la inspiración, y está limitada por presión y ciclada por flujo. El VC lo determina la presión, las características del pulmón y el esfuerzo de paciente.

Ventilación por Presión con Volumen Garantizado (VCRP)

La VCRP funciona con una onda de presión constante, suministra un VC definido respiración por respiración, pero con valores variables. El ventilador proporciona dicho volumen mediante un flujo desacelerante o retardante, que permite insuflar el pulmón con menor PIP y lograr una mejor distribución de los gases en el pulmón. Será ciclada por tiempo con la posibilidad de programar la frecuencia respiratoria, la duración del tiempo inspiratorio y el retardo inspiratorio; todo esto le permitirá ventilar al paciente con un control en la respiración y con una regulación variable pero no brusca de la presión, lo cual asegura un VC y un VM controlado.

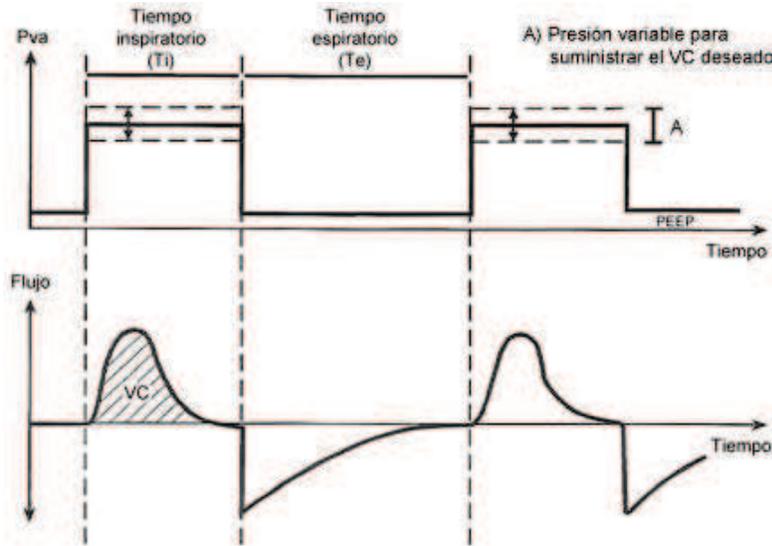


Imagen IV.2.3.6.- Ventilación por presión con volumen garantizado (VCRP) [9]

Ventilación manual

Si el ventilador de la máquina de anestesia falla, la ventilación manual funcionará como resucitador, permitirá ofrecer una ventilación a presión positiva, garantizando un suministro de oxígeno en caso de emergencia. En este modo se hace uso de la válvula llamada APL, la cual solo funciona durante la ventilación manual o espontánea y limita la cantidad de presión que se genera durante la misma, además sirve como vía de escape del exceso de gas del sistema de eliminación, la válvula APL está conectada a la vía aérea del paciente a través del ventilador. El sistema está formado básicamente por una bolsa reservorio de caucho o plástico, con una capacidad mínima igual al volumen corriente de un adulto y una manguera corrugada flexible, con un diámetro interior de 22 mm y una longitud entre 110 y 130 cm, además deberá contar con un soporte integrado a la máquina.

En la siguiente tabla se puede observar los modos de ventilación en diferentes tipos de máquinas de anestesia.

Modos de ventilación	Básica	Intermedia	Alta especialidad
VCV	✓	✓	✓
VCP	✓	✓	✓
SIMV	x	✓	✓
ASB	x	✓	✓
VCRP	x	x	✓
Manual	✓	✓	✓

Tabla IV.2.3.1.- Tabla comparativa de modos de ventilación entre las Cédulas de Especificaciones Técnicas del Cenetec-Salud [1], [2] y [3]

IV.2.3.3.- Controles y ajustes

Se describieron algunos modos de ventilación, es decir, como se va a ventilar al paciente, ahora mencionaremos los parámetros ventilatorios necesarios para determinar dichos modos. Los parámetros poseen un rango para abordar situaciones específicas, los parámetros adecuados varían entre los pacientes y en un mismo paciente durante su aplicación, por lo cual deberá

adaptarse a cada situación fisiopatológica particular, además de las características físicas como: peso, edad, estatura, etc. Por lo tanto la máquina de anestesia posee controles y ajustes para el ventilador, estos son programados por el usuario desde un panel y guardados en la memoria del microprocesador, los cuales se ven a continuación.

Volumen corriente

VC o volumen tidal, es el volumen de aire que entra en el pulmón en cada insuflación. Para determinar de forma aproximada un VC se usa la ecuación: $VC = 5-10 \text{ ml} \times \text{kg peso}$. Dicho parámetro es usado en los modos de control de volumen.

Presión Límite

Es la presión límite alcanzada en la vía aérea, se programa en modos controlados por presión. Se refiere a la presión inspiratoria máxima, la cual al llegar a su valor más alto impide el ingreso de más flujo.

Presión Inspiratoria

Es la presión suministrada en la inspiración, cuando se utiliza ventilación controlada por presión es muy importante conocer si la presión inspiratoria se establece con respecto al nivel de PEEP, es decir, que: $\text{Presión inspiratoria} = \text{Presión Límite} + \text{PEEP}$; si se aumenta la presión inspiratoria manteniendo constante la PEEP se obtiene un mayor volumen circulante, mientras que si se incrementa el nivel de PEEP sin variar la presión de insuflación el volumen suministrado al paciente es menor, lo cual implicaría problemas en la ventilación mecánica.

Frecuencia Respiratoria

Se define como el número de ciclos respiratorios por unidad de tiempo, es decir, el número de ciclos por minuto, la FR junto con el VC, determinan el volumen minuto (VM). Se determinará de acuerdo a las necesidades de cada paciente.

Presión Positiva al Final de la Espiración (PEEP)

La PEEP, es una maniobra que evita la caída a cero de la presión de la vía aérea al final de la fase espiratoria, y puede combinarse con cualquier modalidad ventilatoria. Consiste en mantener una presión, es decir, un volumen al final de la espiración, con el objetivo de abrir alvéolos que, de otra manera, permanecerían cerrados. Debe aplicarse a todo paciente en ventilación mecánica.

Relación I:E y Relación I:E Inversa

El ciclo respiratorio es el periodo de tiempo desde el inicio de una respiración hasta el comienzo de la siguiente, se mide en segundos. El tiempo de ciclo total (T_{TOT}) es la suma del tiempo inspiratorio (T_i) y el tiempo espiratorio (T_e). La duración del ciclo respiratorio puede obtenerse dividiendo 60 segundos entre la frecuencia respiratoria: $T_{TOT} = 60 / FR$.

La relación entre la duración de la inspiración y la espiración (I:E) está determinada por el tiempo inspiratorio y la FR, es una consideración importante a tener en cuenta cuando se inicia el soporte ventilatorio. Esta relación es: $I:E = T_i / T_e$.

Al inicio de la ventilación mecánica se recomienda programar una relación I:E=1:2, es decir, con un tiempo espiratorio doble que el inspiratorio, equivalente a una duración de la inspiración del 33 % del tiempo de ciclo total. Cuando la duración de la inspiración iguala o excede a la de la espiración (I:E \geq 1:1) se dice que la relación I:E está invertida, I:E = 2:1 o 3:1.

Pausa Inspiratoria

Consiste en aplicar un retardo en la apertura de la válvula espiratoria durante un breve tiempo tras finalizar el flujo inspiratorio, el gas insuflado permanece dentro de los pulmones, esta técnica da lugar a una caída de la presión de la vía aérea, desde su valor pico hasta una meseta, la cual es de gran ayuda, ya que refleja la presión pico alveolar y permite el cálculo de la distensibilidad estática. Con el paciente relajado, se programa una pausa de 0.5 a 2 s al final de la inspiración, para permitir el equilibrio entre las presiones de la vía aérea proximal y alveolar. La pausa inspiratoria forma parte de la fase inspiratoria del ciclo respiratorio. Por lo tanto, $T_{I_{TOT}}$ es la suma del tiempo de pausa y del tiempo de insuflación.

Sensibilidad por Flujo o Presión

El ventilador puede iniciar la insuflación después de un esfuerzo inspiratorio iniciado por el paciente, el cual deberá ser detectado por la máquina con relación a un nivel de sensibilidad programado, para ello debe contar con un mecanismo denominado disparo o trigger, en el cual se podrá regular su sensibilidad en distintos grados de esfuerzo inspiratorio, se recomiendan configuraciones bajas, alrededor de -2 a -3 cmH₂O para que la válvula inspiratoria se abra y comience la insuflación, un buen ajuste garantizará la detección del esfuerzo del paciente. Esto se consigue mediante sensores, generalmente de presión o de flujo, los cuales captan una presión o flujo negativos provocados por el movimiento inspiratorio del paciente.

Presión Soporte

Proporciona ayuda durante la inspiración mediante una presión asistida, profundizando las respiraciones que serían superficiales y poco eficaces. El ventilador contribuye parcialmente en el trabajo inspiratorio, pero no interviene en la dinámica ventilatoria y es el paciente el que mantiene el control sobre la respiración espontánea, no existiendo ninguna limitación de volumen o de tiempo.

Control de Flujo Inspiratorio

El flujo inspiratorio puede definirse como la rapidez con que el ventilador suministra el VC. La magnitud del flujo permite establecer un tiempo inspiratorio específico. Los flujos rápidos producen una disminución del tiempo inspiratorio, un aumento de la presión pico de la vía aérea y una mala distribución del gas inspirado. Por el contrario, los flujos lentos reducen la presión pico, mejoran la distribución de la ventilación e incrementan la presión media de la vía aérea a expensas de prolongar el tiempo inspiratorio. El flujo inspiratorio, tiempo inspiratorio, FR y relación I:E, están interrelacionados.

Comprobación del Sistema

Las máquinas de anestesia controladas por microprocesador presentan la ventaja de contar con un sistema de auto test eléctrico, el cual realiza pruebas de comprobación, estas varían según la marca y modelo del aparato y pueden encontrarse del tipo automático, los que requieren seguir indicaciones programadas en el sistema o guiarse por el manual de usuario. Es así como en minutos podremos comprobar funciones y detectar fugas. Si bien esto es una valiosa herramienta no debe dejarse de lado el mantenimiento preventivo del equipo, para asegurar un eficaz y seguro funcionamiento electrónico y neumático, dicho tema será tratado más adelante. En la siguiente tabla se puede observar los parámetros ventilatorios y respiratorios entre diferentes tipos de máquinas de anestesia.

		Básica	Intermedia	A. Especialidad
Controles y ajustes	Parámetros convencionales	Rango de operación	Rango de operación	Rango de operación
Volumen Corriente [ml]	500	40 a 1400	20 a 1400	20 a 1400
Presión límite [cmH ₂ O]	40	15 a 70	15 a 70	12 a 70
Presión inspiratoria [cmH ₂ O]	5	10 a 50	10 a 50	5 a 60
Frecuencia Respiratoria [rpm]	12	4 a 60	4 a 60	4 a 80
PEEP [cmH ₂ O]	5 [a]	4 a 20	4 a 20	5 a 20
Relación I:E, I:E inversa	1:2	✓ [NE]	✓ [NE]	✓ [NE]
Pausa inspiratoria [s]	2[a]	✓ [NE]	✓ [NE]	✓ [NE]
Sensibilidad flujo y presión	✓	x	✓	✓
Presión soporte	10 [a]	✓ [NE]	✓ [NE]	✓ [NE]
Control flujo inspiratorio [l/min]	40 [a]	x	x	✓
Sistema de comprobación	✓	x	x	✓
	[a] Al inicio de la VM		[NE] = No Especificado	

Tabla IV.2.3.2.- Parámetro convencionales. Rangos de operación entre las Cédulas de Especificaciones Técnicas del Cenetec-Salud [1], [2], [3], [64] y [65]

Valores empleados en:	VCV	VCP	SIMV	ASB	VCRP
Volumen Corriente	✓		✓		✓
Presión límite	✓	✓	✓	✓	✓
Presión inspiratoria		✓		✓	
Frecuencia Respiratoria	✓	✓	✓	✓	✓
PEEP	✓	✓	✓	✓	✓
Relación I:E, I:E inversa	✓	✓			✓
Pausa inspiratoria	✓		✓		
Sensibilidad flujo y presión			✓	✓	
Presión soporte			✓	✓	

Tabla IV.2.3.3.- Parámetros empleados en los modos ventilatorios [64]

IV.2.3.4.- Parámetros de ventilación monitorizados

La monitorización del sistema respiratorio y su relación con la ventilación mecánica en la anestesia, permitirá al médico conocer las condiciones, llevar un seguimiento y vigilar al paciente; esto a través de números y/o graficas mostradas en el monitor, las cuales cubrirán las necesidades de seguridad, la prevención e identificación de alguna complicación. Dichos parámetros serán mostrados en la pantalla del monitor de anestesia o monitor del ventilador, a continuación se mencionan características físicas y los parámetros que se visualizan en él.

Monitor

Es el elemento que entregará la información del monitoreo del paciente anestesiado, será el medio para configurar los parámetros anteriormente mencionados, además de establecer otras funciones. En la siguiente imagen se observa un monitor y sus controles de manejo, el monitor deberá tener un teclado sensible al tacto, de membrana o una perilla selectora.

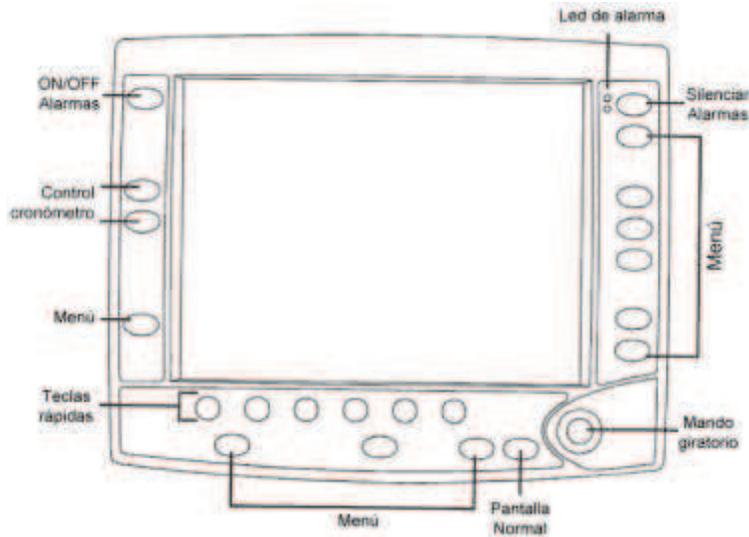


Imagen IV.2.3.8.- Monitor y controles de la Estación de Anestesia Avance de GE [9]

Pantalla

Es en la pantalla del sistema de anestesia donde se mostrará la información del paciente anestesiado y ventilado, ya sea representado con un valor numérico o como una curva, donde el despliegue de mensajes y parámetros será en español, a continuación se muestran dichos parámetros y se definirán algunos que aún no se han mencionado. En la siguiente imagen se observa un ejemplo de pantalla de la misma marca y modelo que la imagen IV.2.3.8.

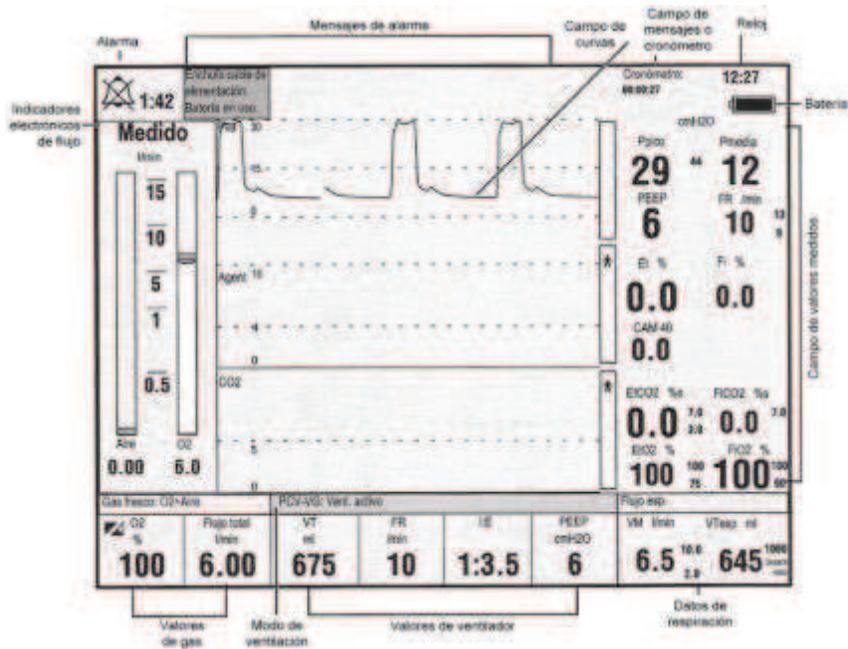


Imagen IV.2.3.9.- Pantalla de la Estación de Anestesia Avance de GE [9]

En la siguiente tabla se menciona el despliegue valores numéricos que deberán mostrarse en la pantalla, los cuales aportan información acerca del estado del paciente antes, durante y después de la anestesia.

DESPLIEGUE DE PARÁMETROS EN FORMA NUMÉRICA	BÁSICA	INTERMEDIA	AE
Fracción inspiratoria y espiratoria de oxígeno	✓	✓	✓
Volumen Corriente	✓	✓	✓
Volumen minuto	✓	✓	✓
Presión media	✓	✓	✓
Presión pico	✓	✓	✓
PEEP	✓	✓	✓
Frecuencia Respiratoria	✓	✓	✓
Compliance y/o resistencia pulmonar		✓ [MV]	✓
MAC		✓ [MV]	✓
Presión meseta		x	✓
Concentración inspirada de 5 agentes anestésicos y N ₂ O			✓ [MV]
Identificación de agentes anestésicos y mezclas		✓ [MV]	✓ [MV]
Consumo de gases		✓ [MV]	✓ [MV]
[MV] Visible en Monitor de signos vitales			

Tabla IV.2.3.5.- Tabla comparativa del despliegue de parámetros en forma numérica entre las Cédulas de Especificaciones Técnicas del Cenetec-Salud [1], [2] y [3]

Oximetría

Es el valor de la concentración de O₂, permite monitorear al sistema de provisión de O₂ y de la captación del mismo por parte del paciente. Brinda los siguientes datos: FiO₂, la cual expresa el porcentaje de O₂ que llega al paciente en cada inspiración y la fracción espiratoria de oxígeno, EtO₂, el cual indica el porcentaje de O₂ que permanece en los alvéolos al finalizar la espiración, la diferencia entre FiO₂ y EtO₂, expresa la captación de O₂ que se produjo en el organismo.

- **Fracción inspiratoria de oxígeno (FiO₂)**

Es la proporción de oxígeno suministrado dentro del volumen de gas inspirado. La FiO₂ a nivel del mar es del 21%, pero en la máquina puede ajustarse entre el 0.21 (21%) y 1.0 (100%). Al inicio de la ventilación mecánica es recomendable administrar una FiO₂=1, para tratar de optimizar a la brevedad cualquier situación de hipoxemia. Son sensores de oxígeno específicos, los encargados de la concentración del mismo en la inspiración y espiración. Los más empleados son los paramagnéticos, que se basan en la fuerte propiedad paramagnética del oxígeno, presentando una gran ventaja debido a su rápida respuesta.

Presión Media

La presión media de la vía aérea es la presión promedio registrada durante el ciclo respiratorio completo, y está relacionada con la cantidad total de presión aplicada tanto en inspiración como en espiración.

Compliance y/o resistencia pulmonar

Es la capacidad del pulmón de dejarse distender. Para que el gas insuflado llegue a los pulmones se debe aplicar una presión que venza la resistencia elástica que ofrecen los pulmones y la pared torácica. La resistencia de vías aéreas, es la resistencia friccional que oponen las vías aéreas al flujo de gas circulante, siendo la presión necesaria para generar un flujo de gas a través de las vías aéreas.

Concentración Alveolar Mínima (MAC)

La MAC mide la potencia anestésica de los anestésicos inhalatorios. Este valor representa la concentración alveolar de un anestésico, medido a una atmósfera de presión, su concentración dependerá de la mezcla de gas y agente anestésico, además de las características del paciente.

Asimismo deberá ser capaz de identificar los 5 agentes anestésicos, y a su vez mostrará la concentración inspirada y espirada de estos, además del N₂O y de las mezclas. Se debe asegurar una adecuada ventilación durante toda la anestesia, controlando la mezcla gaseosa que el paciente inspira. Es obligatorio que el gas que inhala el paciente sea monitorizado con un aparato capaz de medir la concentración de oxígeno.

Monitoreo de los Agentes Anestésicos

Existen diferentes tipos de tecnologías empleadas para detectar, identificar, analizar y medir gases y sus concentraciones, con el fin de controlar el suministro y la acción de los agentes inhalatorios. En pantalla se mostrarán las mediciones de la fracción inspirada, Fi; y la fracción espirada, Fe; de dichos agentes, con el fin de conocer la cantidad de anestésico suministrada y su concentración alveolar. A continuación se mencionan cuatro de las tecnologías usadas para este fin.

- **Espectrómetro de masa**

El interior del espectrómetro de masa funciona a baja presión, una pequeña muestra de gas es llevada al interior del instrumento por una bomba de vacío. Un haz incidente de electrones produce la ionización de la muestra y una combinación de campos eléctricos y magnéticos separa las diversas especies moleculares en función de sus razones entre carga eléctrica y masa. Cada especie es recogida a nivel de un electrodo separado y las corrientes resultantes son registradas a intervalos y presentadas sobre un registrador rápido. En el sitio donde chocan los iones se pueden contar los impactos, obteniendo el tanto por ciento de concentración del gas. Hay dos tipos de espectrómetros:

El separador magnético de detectores fijos

En los detectores fijos, las moléculas de la muestra gaseosa se rompen en fragmentos en la cámara de ionización, permitiendo distinguir compuestos de igual masa como el CO₂ y el N₂O, midiéndolos como el fragmento C, O y N. Los espectrómetros cubren un rango de masa entre 2 y 136, por lo que los halogenados como el halotano (197.4), enflurano e isoflurano (184.5) no pueden medirse. Los agentes anestésicos se cuantifican midiendo fragmentos de masa inferior.

Detector cuadrupolo

En el cual la mezcla gaseosa pasa por campos magnéticos de diferente intensidad, de modo que solo partículas de una determinada masa atómica llegan al colector y las demás chocan con cuatro rodillos, cambiando el voltaje aplicado a cada uno de ellos. Se puede escanear el espectro de masas en unos pocos milisegundos y si se repite el proceso indefinidamente se obtiene monitorización continua.

- **Espectroscopia Raman**

El efecto Raman se basa en la interacción de la luz con el gas, cuando la luz colisiona con una molécula del gas puede ocurrir que se absorba cierta energía cinética, con lo que la luz dispersada tendrá un nivel energético menor y por tanto una menor longitud de onda. El grado en que el gas absorbe energía depende de su estructura y de su peso molecular, es una espectroscopia que utiliza la radiofrecuencia. El efecto Raman es característico para cada molécula y su intensidad es proporcional a la cantidad de moléculas, puede usarse para análisis cualitativo y cuantitativo. Se emplea para analizar y medir e identificar el: O₂, CO₂, N₂O y anestésicos halogenados.

- **Espectroscopios de infrarrojos**

Utilizan la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas en la zona del espectro situado inmediatamente después de la zona roja de radiación visible. Pueden medir el CO₂, el N₂O y los agentes halogenados. No sirve para distinguir el agente halogenado por lo que no ayuda a descubrir errores en el llenado de los vaporizadores, o la presencia de dos o más agentes, tampoco puede detectar el O₂, y el N₂.

- **Espectrografía infrarroja fotoacústica**

Son una variedad de los infrarrojos, a diferencia de estos, pueden medir el O₂, CO₂, N₂O y los anestésicos halogenados. Como la medición es rápida pueden dar curvas del tipo concentración/tiempo en la pantalla. Como ventaja adicional pueden analizar todos los gases al mismo tiempo, mientras que los infrarrojos solo pueden hacerlo uno después de otro.

- **Despliegue de curvas**

El análisis de las curvas proporciona información importante sobre la dinámica de la ventilación, lo que ayuda a detectar anomalías e irregularidades. Asimismo puede detectarse fugas visualmente a partir de las mismas. El número y cuáles serán las curvas que aparecerán en la pantalla dependerá de la configuración del equipo y del usuario, siendo el mínimo de 3, las curvas que deberán ser visibles en la pantalla. En la siguiente tabla se aprecian las opciones de curvas que pueden desplegarse.

Despliegue de curvas	Básica	Intermedia	Alta especialidad
Gráfico de Pva	✓		✓
Curva de flujo			✓
Lazo presión-volumen		✓	✓
Lazo flujo-volumen		✓	✓
Agente anestésico			✓
Concentración de O ₂ ins-esp			✓

Tabla IV.2.3.6.- Tabla de despliegue de curvas en la pantalla del ventilador entre las Cédulas de Especificaciones Técnicas del Cenetec-Salud [1], [2] y [3]

Gráfico de Pva

La presión en las vías aéreas se representa en el eje de las ordenadas y el tiempo en las abscisas. La gráfica de presión-tiempo representa los cambios que se producen en la presión de la vía aérea durante el ciclo respiratorio, la cual es significativamente distinta en modalidades cicladas por volumen y por presión. En la práctica clínica, entre las utilidades que brindan la visualización de esta gráfica son: distinguir rápidamente el modo ventilatorios, distinguir una resistencia aumentada en la vía aérea, presencia de fugas, cuando no se logra mantener alguno parámetro estable o constante, etc.

Curva de flujo

El flujo se representa en el eje de las ordenadas y el tiempo en el de abscisas. La gráfica de flujo-tiempo representa los cambios que se producen en el flujo de la vía aérea durante el ciclo respiratorio. Como se observó anteriormente, la parte positiva, es decir, el flujo inspiratorio, es característico de cada modo, mientras que el flujo espiratorio presenta casi la misma conducta en todos los modos. En la práctica clínica, entre las utilidades que brindan la visualización de esta curva son: distinguir rápidamente la modalidad ventilatoria; detección del atrapamiento aéreo, es decir, cuando no se espira todo el aire que se ha inspirado; valorar la respuesta al tratamiento, etc.

Lazo Presión-Volumen

El volumen se representa en el eje de las ordenadas y la presión en el de abscisas, representa los cambios que se producen en el volumen pulmonar respecto a los cambios en la presión durante el ciclo respiratorio. La curva se forma de dos lazos, el primero se abre e indica el inicio de la inspiración, después se cierra, indicando el final de la espiración. La gráfica de presión-volumen es distinta en modalidades cicladas por volumen o por presión, cuya diferencia es la parte de la curva que representa los cambios en el flujo inspiratorio, ya que la espiración es un fenómeno pasivo y depende de las características del paciente, y no de la modalidad programada. En el lazo o bucle se pueden observar: la PIP; la detección de la PEEP, localizada en un punto de inflexión en la parte inferior de la curva inspiratoria; y alteraciones en la compliance, cuya pendiente de la curva que va desde el punto final de la inspiración y la espiración, etc. En la actualidad las máquinas de anestesia deben ser capaces de almacenar en su memoria lazos seleccionados para comparar los cambios que se puedan producir a lo largo del tiempo.

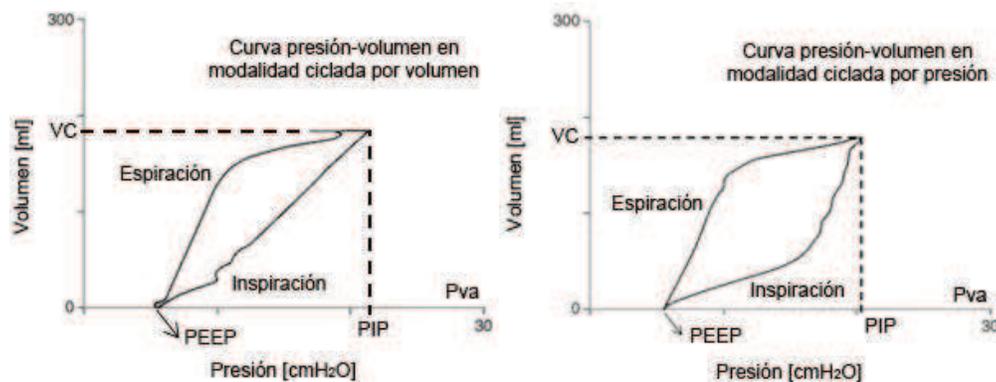


Imagen IV.2.3.10.- Lazos Presión-Volumen en modalidad volumen control y presión control, respectivamente [K]

Lazo Flujo-Volumen

El flujo se representa en el eje de las ordenadas y el volumen en el de abscisas, representa los cambios que se producen en el flujo de la vía aérea respecto a los cambios en el volumen pulmonar durante el ciclo respiratorio. Presenta características similares con el anterior lazo, donde la curva resultante es un lazo que se abre con el inicio de la inspiración y se cierra al final de la espiración, la diferencia del lazo depende de la modalidad en que se cicle, y cuya diferencia se limita a la parte de la curva que representa los cambios en el flujo inspiratorio.

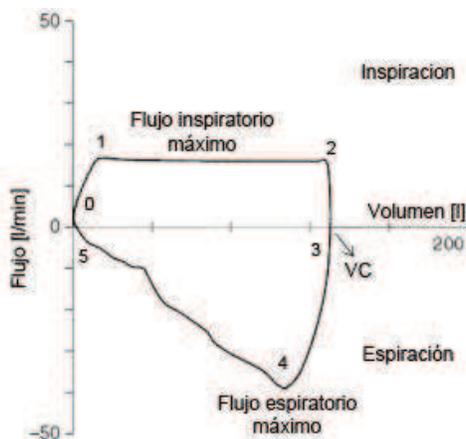


Imagen IV.2.3.11.- Lazo Flujo-Volumen, modalidad volumen control [K]

En las modalidades cicladas por volumen la curva flujo-volumen presenta las siguientes características: del punto 0 al punto 1, se observa el ascenso inicial hasta el flujo inspiratorio máximo; del punto 1 al 2 es el flujo es constante durante la inspiración; del punto 2 al 3, existe un cese del flujo inspiratorio al final de la misma; del punto 3 al 4, es el inicio de la espiración hasta alcanzar el flujo espiratorio máximo; y del punto 4 al 5, es el flujo decreciente durante la espiración hasta alcanzar el flujo cero; como se observa en la imagen IV.2.3.11.

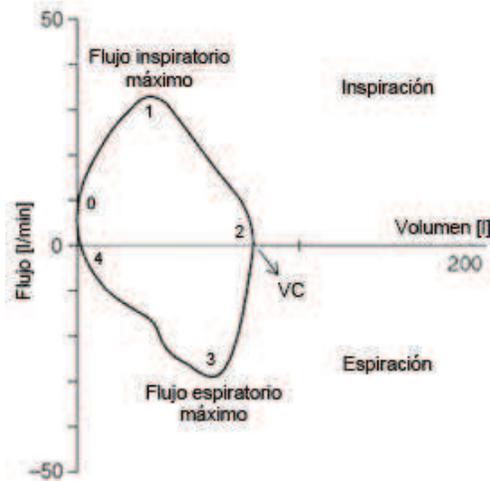


Imagen IV.2.3.12.- Lazo Flujo-Volumen, modalidad presión control [K]

En las modalidades cicladas por presión, la curva flujo-volumen presenta los siguientes tramos: del punto 0 al 1, es el ascenso inicial hasta el flujo inspiratorio máximo; del punto 1 al 2, representa el flujo decreciente durante la inspiración; del punto 2 al 3, hay un cese del flujo inspiratorio al final de la inspiración e inicio de la espiración hasta alcanzar el flujo espiratorio máximo; del punto 3 al 4, es el flujo decreciente durante la espiración hasta alcanzar el flujo cero; como se observa en la imagen IV.2.3.12. Este lazo nos proporciona en la práctica clínica las siguientes utilidades: visualización de la existencia de un flujo espiratorio restrictivo, detectar la presencia de atrapamiento de aire y la presencia de fugas, advierte la presencia de secreciones en la vía aérea o agua en las tubuladuras del circuito, etc.

Concentración de O₂ inspirado y espirado

Consiste en la medición de la concentración de oxígeno en el circuito anestésico. Permite determinar la mezcla de gases que entran y salen de la vía respiratoria de un paciente.

Vendrá representado por una curva en tiempo real de la medición instantánea de la concentración de O₂ en la vía aérea del paciente, tanto en la inspiración como en la espiración, en condiciones de estabilidad durante la anestesia.

La curva representa una imagen en espejo del capnograma y se le conoce como oxigrama. En la imagen IV.2.3.13, se observa que el punto A corresponde al comienzo de la espiración, y es iguala FiO₂.

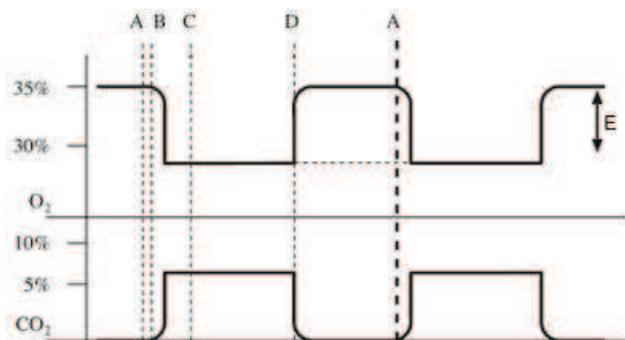


Imagen IV.2.3.13.- Curvas de la concentración de O₂ y CO₂ inspirado y espirado, respectivamente [J]

El punto B se verifica la mezcla de gas perteneciente al espacio muerto anatómico y al alveolar. El punto C pertenece al porcentaje del gas que quedó en el alvéolo pulmonar. El punto más bajo de la meseta, EtO_2 , corresponde al gas alveolar. El punto D señala el comienzo de la inspiración. El punto más alto de la meseta superior corresponde a la FIO_2 . E representa la diferencia entre el punto más alto, FIO_2 , y el punto más bajo de la curva, EtO_2 revela la diferencia entre la concentración de oxígeno inspirada y espirada en ese ciclo respiratorio.

IV.2.3.5.- Alarmas

El sistema de anestesia cuenta con alarmas sonoras y visuales, establecen una importante medida de seguridad para el paciente, estas deben ser lo suficientemente sensibles para detectar fácil y rápidamente un acontecimiento crítico, dependiendo del peligro de la situación y de la rapidez con que debe ser atendida, se ordenan en tres niveles de prioridad, como se observa en la tabla.

Prioridad	Nivel	Color
Amenaza vital	1	Rojo
Amenaza vital potencial	2	Naranja
Peligro potencial	3	Amarillo

Tabla IV.2.3.7.- Niveles de prioridad en la alarmas

Se clasifican en tres tipos: las alarmas técnicas, que se derivan de un problema técnico y ocurren independientemente de que se haya conectado o no un paciente al sistema, no son configurables, y se activan en caso de alguna falla mecánica, eléctrica o neumática; las alarmas de parámetros, que son los límites calculados y establecidos por el usuario en el menú; y las alarmas informativas, que muestran mensajes al usuario relacionado con las funciones del sistema. En la siguiente tabla se observa un listado de las mismas, para cada tipo de máquina de anestesia.

Alarma	Básica	Intermedia	Alta especialidad
FiO_2 (alta y baja)	✓	✓	✓
Volumen minuto (alta y baja)	✓	✓	✓
Baja presión de O_2		✓	✓
Presión pico			✓
Apnea	✓	✓	✓
PEEP alto			✓
CO_2 (alta y baja)	✓ [MA]	✓ [MA]	✓ [MA]
% de gases anestésicos (alta y baja)			✓
Frecuencia cardiaca	✓ [MA]	✓ [MA]	✓ [MA]
Mezcla de gases			✓
Presión de vías aéreas (alta y baja)	✓		✓
Presión baja de suministro de gas	✓	✓	✓
Fuga en circuito de paciente	✓	✓	✓
Falla o cambio del sensor de O_2	✓	✓	✓
Falla en sensor de presión o flujo	✓	✓	✓
Falla en el suministro eléctrico	✓	✓	✓
Indicador de fuente de alimentación AC o DC	✓	✓	✓
Indicador de batería baja	✓	✓	✓

[MV] Visible en Monitor de Signos Vitales

Tabla IV.2.3.8.- Tabla comparativa de alarmas entre las Cédulas de Especificaciones Técnicas del Cenetec-Salud [1], [2] y [3]

IV.2.4.- Circuito de paciente

También llamado circuito anestésico o circuito respiratorio, constituye el conjunto de elementos que permiten la correcta administración de los gases y vapores anestésicos; posibilita su eliminación o reutilización, desde la máquina de anestesia hasta el paciente.

IV.2.4.1.- Montaje de circuito

Ha sido clasificado dependiendo del: lugar donde se encuentre el anestésico, según la reinhalación de gases y si hay presencia o no de absorbedores de CO₂, y se relacionan de la siguiente manera:

Localización del anestésico	Con sistema de absorción CO ₂	Sin sistema de absorción CO ₂	Con sistema de absorción CO ₂ y/o Válvulas	Bolsa reservorio
	Con reinhalación	Sin reinhalación	Con reinhalación parcial	
ABIERTO	x	x	x	x
SEMIABIERTO	x	✓	x	✓
SEMICERRADO	x	x	✓	✓
CERRADO	✓	x	x	✓

Tabla IV.2.4.1.- Tabla de circuitos

Circuito Abierto

El paciente inhala la mezcla de gases y el agente anestésico, los cuales son llevados a las vías aéreas por el aire atmosférico como agente diluyente, la vía tiene acceso a la atmósfera durante la espiración y la inspiración. Los circuitos abiertos tienen solo un lugar histórico, debido a que uso y práctica ofrecen desventajas en su administración y control.

Circuito Semiabierto

La inspiración se produce con gases proveniente de la máquina, los gases espirados van a la atmósfera o por la línea espiratoria del circuito anestésico. Pueden tener válvulas de no reinhalación, o no tenerlas como los circuitos Mapleson; son utilizados en anestesia pediátrica especialmente en menores de 10 kilos y para el transporte de pacientes. Técnicamente no existe reinhalación, siendo el aire atmosférico transportador o diluyente del agente anestésico.

Circuito Semicerrado

Este será el montaje de circuito de reinhalación parcial, que permita la ventilación mecánica. Se define como aquel en el cual el sistema respiratorio del paciente está completamente cerrado en la inspiración y abierto a la atmósfera en la espiración, esta técnica de manejo anestésico, es posible únicamente permitiendo reinhalación parcial del gas espirado, el CO₂ de la mezcla es retirado por un absorbente, y al mismo tiempo permite que el exceso de gas sea descargado del sistema a través de la válvula liberadora de presión a la atmósfera. Son los siguientes circuitos los que habitualmente se encuentra en la mayoría de las máquinas de anestesia.

- **Circuito circular**

Es el montaje de circuito de reinhalación parcial, para circuito semicerrado, más utilizado y que se denomina así por su forma circular, se forma de los siguientes componentes:

- Entrada de flujo de gas fresco, la cual se encuentra localizada entre la válvula inspiratoria y el canister.

- Válvulas unidireccionales, que aseguran el movimiento del gas en una dirección, una de ellas para la inspiración y otra para la espiración.
- Mangueras corrugadas, generalmente de material flexible como caucho, silicona o plástico, con un diámetro interior de 22 mm y una longitud entre 110 y 130 cm, es el medio para conectar al paciente a la máquina de anestesia.
- Pieza en Y conectora, une las mangueras con la máscara o con el tubo endotraqueal.
- Válvula de sobrepresión, facilita la salida del exceso de gas del sistema.
- Bolsa reservorio, usualmente de caucho o plástico, con una capacidad mínima igual al volumen corriente de un adulto y una válvula limitante de presión (APL) para incrementar la presión en la ventilación manual; y
- El absorbedor de CO₂, que permite la reinhalación parcial de los gases exhalados por la neutralización química del CO₂.

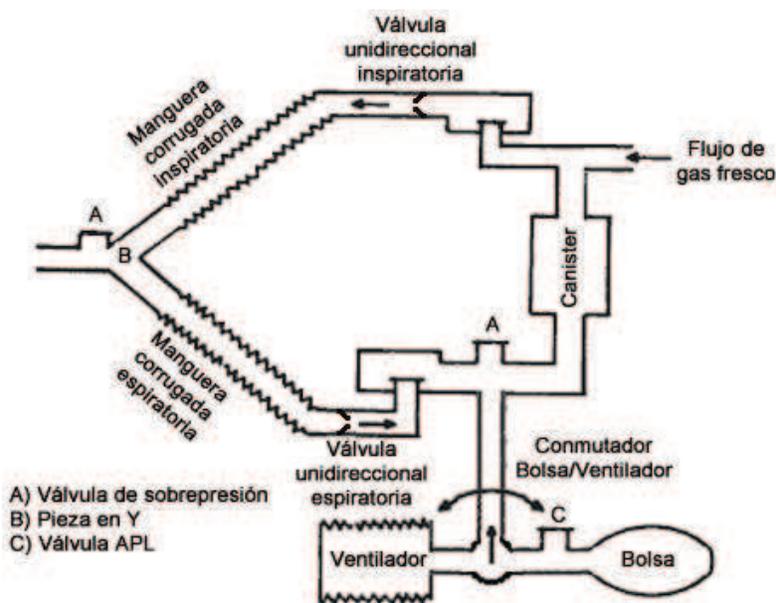


Imagen IV.2.4.1.- Elementos del circuito circular. []

La colocación secuencial de los componentes tiene los siguientes objetivos principales:

1. Mantenimiento del gas fresco, que debe incluirse exclusivamente en el lado inspiratorio, obteniéndose un mejor rendimiento del agente anestésico en la inducción.
2. Consumo mínimo del absorbente, el gas que sale de la válvula de sobrepresión debe tener la más alta preservación posible de CO₂.
3. Humidificación máxima de los gases inspirados.
4. Disminución del espacio muerto.

En la realidad la colocación de los componentes en el circuito circular no logra cubrirse todos los puntos anteriores, ya que unos son priorizados sobre otros en la práctica clínica.

• Circuito Bain

Formado por un tubo dentro de otro tubo corrugado, donde el tubo interior es el medio de envío de gases frescos, es decir, el tubo de inspiración, y en el tubo exterior, en el cual circulan los gases exhalados del paciente. Se produce un intercambio de temperatura entre ambos, en el cual los gases frescos que ingresan se calientan por el paso de los gases espiratorios.

Circuito Cerrado

Es parecido al circuito semicerrado, con la diferencia que se mantiene ocluida la válvula liberadora de presión, con total reinhalación de los gases espirados, luego de su paso por el sistema absorbedor de CO₂, es totalmente independiente de la atmósfera y no hay desecho de gases. Puede considerarse más como una técnica anestésica que un circuito.

IV.2.2.2.- Válvulas

Las válvulas son los mecanismos que regulan el flujo, puede iniciar, abrir, cerrar, detener o regular la circulación de los gases mediante una pieza movable, la cual se abre, cierra u obstruye parcialmente en uno o más orificios o conductos.

Válvula Ajustable de Presión (APL)

Solo se utiliza durante la ventilación manual o espontánea y limita la cantidad de presión que se genera durante la misma. Está destinada a dejar pasar a la atmósfera la totalidad o una parte del gas espirado. La válvula se regula manualmente y se abre a una cierta presión, regulable entre 0.5 y 80 cmH₂O, por tanto, deja salir el gas cuando la presión en el circuito sobrepasa dicho valor. En los circuitos circulares es imprescindible porque el sistema recibe más gas fresco que el consumido por el paciente. Su posición en el circuito es fundamental, ya que su localización hace el gas que deje escapar sea principalmente gas espirado y poco gas fresco.

Válvula de Sobrepresión

Según el tipo de circuito, permite la salida a la atmósfera de una parte o la totalidad de los gases espirados. Se abre a una presión regulable, prefijada entre 0.5 y 80 cmH₂O. Libera presión y previene la transmisión de presiones altas desde la máquina hasta el paciente.

Válvulas Unidireccionales

Formada por dos válvulas idénticas, la válvula unidireccional inspiratoria y la válvula unidireccional espiratoria, permiten el paso de forma pasiva en una sola dirección de flujo de gas fresco y de los gases espirados respectivamente. Impide la reinhalación y la mezcla de gases entre la inspiración y la espiración. Debe tener resistencia baja y capacidad alta; es decir, abrirse con poca presión y cerrarse con rapidez.

Válvula Conmutadora Bolsa-Ventilador

La máquina de anestesia deberá tener un conmutador Bolsa-Ventilador, la modalidad de Bolsa corresponde a la ventilación manual y la modalidad Ventilador hace referencia al uso de ventilación mecánica automática programada. Según el modelo, el mecanismo por el cual se controla la ventilación manual puede variar, pudiendo ser electrónico, donde se entrega una ventilación con el volumen circulante o presión previamente programados, mientras que en otros el control es mecánico.

IV.2.4.3.- Sistema de evacuación

Son dispositivos que permiten la eliminación de forma segura y eficaz de los gases anestésicos sobrantes, esto con el fin de atenuar la contaminación en quirófano. Frecuentemente la cantidad de gases utilizados en anestesia sobrepasa las necesidades del paciente, por lo que el sistema de evacuación debe recoger los gases espirados del circuito respiratorio, sin afectar la respiración del paciente, los transporta a la atmósfera a través de sistemas de evacuación, también llamados sistemas de desecho. Existen dos tipos:

Sistema de Evacuación: Activa

Un sistema de evacuación es activo cuando se utiliza una fuente externa de vacío o succión para extraer los gases sobrantes del sistema de anestesia. Durante este proceso el conducto de salida hacia la ventilación se encuentra ocluido.

Sistema de Evacuación: Pasiva

El sistema de evacuación pasivo es un sistema que no necesita de una fuerza externa para eliminar los gases sobrantes de la anestesia, únicamente utilizara como principio la diferencia de presión presente en el circuito de respiración y el ambiente para eliminar dichos elementos sobrantes, el ciclado del respirador impulsa los gases directamente a la atmósfera a través de un conducto de ventilación, sin válvulas intermedias.

IV.2.4.4.- Sistema de absorción de CO₂

El sistema de absorción de CO₂, canister, asegura que los gases exhalados y los que se inhalan estén libres del CO₂. Los absorbentes de CO₂ son recipientes transparente de diferentes tamaños, los cuales tendrán hasta una capacidad mínima de 850 ml, de los cuales deben entregarse dos, o uno de 1500 ml. Se coloca el canister en posición vertical, porque los gases circulan generalmente en sentido ascendente a través de este, será usado para circuitos semicerrados y cerrados. La absorción química del CO₂ emplea el principio general de neutralización de un ácido por una base, por lo cual deberán contar con una trampa de agua y recipiente canister externo o sistema de calentamiento interconstruido. Para dicho proceso, se hace uso de la cal sodada o cal baritada, más un indicador.

Cal sodada

Es el absorbente más empleado, se compone de hidróxido de calcio a un 94%, hidróxido de sodio a un 5%, hidróxido de potasio a un 1% y un activador. El dióxido de carbono se combina con agua y se forma ácido carbónico, que a su vez reacciona con los hidróxidos para formar carbonato o agua.

Cal baritada

Está compuesta por hidróxido de calcio a un 80% e hidróxido de bario a un 20%, es más estable que la cal sodada, aunque es un 15% menos eficaz. Se le agrega un indicador que muestra su grado de saturación.

Indicador

De mayor uso el violeta de etilo y la fenolftaleína, es un indicador que cambia de color cuando este disminuye como resultado de la absorción. Se agrega a la cal sodada o baritada para indicar la saturación del absorbente, y su presencia no afecta la reacción de absorción del CO₂. Inicialmente, cuando la cal sodada es fresca, los indicadores son incoloros y a medida de la absorción de CO₂, el absorbente se va agotando, los indicadores cambian su coloración, la cual se torna color violeta y rosa, respectivamente.

El canister debe cumplir con ciertas características importantes, como son:

- Ser un recipiente rígido y reusable;
- Debe ser esterilizable en autoclave;
- No será necesario el uso de herramientas para desmontarlo;
- Será libre de látex; y
- Deberá contar con un sistema que permita el cambio de cal sodada durante la ventilación mecánica sin ocasionar fuga en el circuito.

IV.2.5.- Gabinete transportable

La máquina de anestesia contara con un gabinete móvil, el cual permitirá transportar toda la unidad con facilidad y seguridad. Deberá tener ciertas características, las cuales se mencionan a continuación:

- Montaje para dos vaporizadores o dosificador electrónico
- Montaje de ventilador interconstruido
- Con al menos tres contactos eléctricos interconstruidos
- Yugos para cilindros de O₂ y N₂O
- Con al menos un cajón
- Mesa de trabajo
- Cuatro ruedas, al menos dos de ellas con freno o sistema de freno central
- Indicadores interconstruidos de presión para suministro de toma mural (3 gases) y de cilindros (2 gases)
- Reguladores de succión
- Montaje en máquina para monitor de signos vitales
- Con iluminación para el área de trabajo

IV.2.6.- Accesorios, consumibles y refacciones

La siguiente lista de accesorios será para paciente neonato, pediátrico y adulto. Es importante mencionar que la siguiente lista no es definitiva ni absoluta y serán las unidades médicas las encargadas de seleccionarlos de acuerdo con sus necesidades, asegurando su compatibilidad con la marca y modelo del equipo.

- Circuito de paciente reusable, esterilizable y libre de látex, adulto, pediátrico y neonato.
- Tubos corrugados de al menos 1.2 m de longitud.
- Pieza en Y y codo,
- Circuito de reinhalación parcial: Tipo Bain, semicerrado o equivalente.
- Mascarilla transparente reusable, esterilizable y libre de látex, de tamaño: pequeña, mediana y grande.
- Bolsa para ventilación reusable, esterilizable y libre de látex, de: 1 litro, 2 litros, 3 litros y 500 ml para pacientes neonatales,
- Mangueras codificadas por color
- Sensor de flujo reusable
- Filtros para canister
- Filtros hidrofóbicos adulto, pediátrico y neonato
- Sensor de oxígeno
- Línea de muestra para CO₂
- Trampa de agua

Los consumibles se adquirirán en cantidades y tamaños de acuerdo con las necesidades operativas de las unidades médicas, de igual manera, en el caso de las refacciones.

IV.2.7.- Instalación eléctrica y neumática

En la siguiente tabla se muestran los requerimientos eléctricos y neumáticos que energizara y pondrá en operación a la máquina de anestesia.

	Corriente Alterna	Corriente Directa	[min]	MA
Eléctrica	100-127 V +/- 10% 60 Hz	Batería de respaldo con duración de:	60	Básica
			60	Intermedia
			90	Alta especialidad

Tabla IV.2.7.1.- Especificaciones AC y CD

En algunos caso, la máquina de anestesia no cuenta con batería de respaldo interconstruida, por lo que se puede hacer uso de un UPS de grado médico para todo el equipo. Los requerimientos del sistema neumático se puede observar en la siguiente tabla, siendo igual para las máquinas de anestesia básica, intermedia y de alta especialidad.

	GAS
Neumática	Aire
	Oxígeno [O ₂]
	Óxido Nitroso [N ₂ O]

Tabla IV.2.7.2.- Especificaciones neumáticas

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo general del circuito neumático del sistema de la máquina de anestesia.



Imagen IV.2.7.1.- Circuito neumático del sistema de la máquina de anestesia [e]

Donde			
1	Cilindros de gas	12	Línea espiratoria de circuito
2	Entrada de gases por red hospitalaria	13	Válvula espiratoria
3	Control de los flujómetros	14	Manómetro de presión en vías aéreas
4	Guarda hipóxica	15	Absorbedor de CO ₂
5	Flujómetros	16	Válvula selectora ventilador/bolsa
6	Vaporizadores	17	Bolsa reservorio
7	Flush de O ₂	18	Válvula APL
8	Salida de gases frescos al circuito (FGF)	19	Sistema evacuador de gases
9	Válvula inspiratoria	20	Fuelle (o pistón mecánico) del ventilador
10	Línea inspiratoria de circuito	21	Control del ventilador de anestesia (aire u O ₂)
11	Pieza en Y	22	Alimentación neumática del ventilador

IV.3.-MONITOR DE SIGNOS VITALES

Es el equipo que permite detectar, procesar y desplegar en forma continua los parámetros fisiológicos del paciente. Dependiendo de la configuración, los monitores de signos vitales miden y despliegan curvas y valores numéricos para varios parámetros fisiológicos. El monitoreo continuo es una herramienta importante ya que permite evaluar en todo momento y de forma completa las condiciones fisiológicas del paciente, además, permite hacer mejores valoraciones y posibilita la toma de decisiones para su tratamiento y diagnóstico. Los monitores de signos vitales pueden ser:

- Preconfigurados, los parámetros a monitorizar son fijados por el proveedor desde fábrica y no es posible agregarle ningún parámetro adicional.
- Modulares, el usuario puede seleccionar los parámetros a monitorizar, adicionando dispositivos conocidos como módulos independientes para cada uno de los parámetros, uniparámetros; o para un grupo de parámetros, multiparámetros; estos módulos pueden utilizarse en cualquier combinación e intercambiarse entre un monitor y otro de la misma marca y modelo.
- Ambos [5]

Un monitor de signos vitales permite conocer permanentemente el comportamiento del paciente y registrar su condición antes, durante y después, de la intervención. En la siguiente tabla se muestran algunas características con las que debe contar el monitor de signos vitales.

Monitor de anestesia		Básica	Intermedia	AE
Monitor	Preconfigurado	✓	✓	✓
	Modular	✓	✓	✓
Tipo de pantalla		LCD, LCD TFT o superior		
Imagen		Policromática		
Tamaño mínimo		10"	12"	12"
Teclado o perilla selectora		✓	✓	✓
Numero mínimo de curvas en pantalla		4	8	8
Parámetro numéricos		✓	✓	✓
Batería de respaldo [minutos]		120	120	120
Idioma		Español		
Salida analógica de ECG		✓	✓	✓

Tabla IV.3.1.1.- Tabla comparativa de los monitores y pantallas de signos vitales entre las Cédulas de Especificaciones Técnicas del Cenetec-Salud [1], [2] y [3]

En la siguiente tabla se muestran los parámetros a monitorizar.

Parámetros	Básica	Intermedia	AE
ECG	✓	✓	✓
PANI	✓	✓	✓
PAI		✓	✓
Temperatura	✓	✓	✓
SpO ₂	✓	✓	✓
Capnografía	✓	✓	✓
Espirometría		✓	✓
BIS			✓
TNM			✓
Gases		✓	✓

Tabla IV.3.1.2.- Tabla comparativa de los parámetros fisiológicos de monitoreo entre las Cédulas de Especificaciones Técnicas del Cenetec-Salud [1], [2] y [3]

IV.3.1.- Electrocardiograma (ECG)

El monitoreo electrocardiográfico, es un proceso no invasivo, básico, útil, frecuente e importante durante la anestesia y para el diagnóstico intraoperatorio y posoperatorio. El ECG brinda información en primer lugar como un registro destinado a detectar trastornos del ritmo cardiaco; además de eventos isquémicos intraoperatorios tanto del paciente sano como del paciente que padece cardiopatías; y detección de arritmias, las cuales se presentan en más del 50% de los pacientes durante la anestesia. Por lo tanto, otorga posibilidades de diagnosticar y tratar al paciente oportunamente.

IV.3.1.1.- Estructura para la obtención de la señal de ECG

El ECG es el registro de la actividad eléctrica del corazón en función del tiempo, generalmente formado por las etapas de:

Unidad de entrada

Los electrodos son placas metálicas utilizadas como conductores, deben ser mínimamente invasivos ya que entran en contacto directo con el medio a medir. Tienen la función elemental de ser la interfaz entre el equipo médico y el paciente. Entre las características que deben tener estos sensores son: biocompatibilidad, rigidez, buena conductividad, inercia, mecánicamente fuertes y de baja impedancia. Entre los materiales que se usan para su fabricación se encuentran el: Oro (Au), el cual es un buen conductor, mecánicamente débil, inerte y costoso; Plata (Ag) o AgCl, que son excelentes conductores, tienen baja impedancia; acero inoxidable, más económico que los anteriores, también un buen conductor, no es tóxico y es mecánicamente fuerte; y fibra de carbono, este último, es inerte, mecánicamente fuerte y tiene baja impedancia.

La señal recibida por los sensores llega a los traductores que transforman corrientes iónicas en corrientes eléctricas, estos pequeños potenciales bioeléctricos del cuerpo humano, deben tener la mínima pérdida cuando se transforman en potenciales eléctricos.

Microcontrolador

Es el encargado de manejar los procedimientos utilizados para la obtención del ECG, permite al usuario seleccionar los modos de operación con procedimientos previamente programados, entre los que se encuentran: el registro de las señales cardiacas dependiendo del número de latiguillos usados, o por segmentos de tiempo determinados, define la frecuencia cardiaca por el análisis entre el tiempo de las ondas R, permite el reconocimiento de arritmias y patrones característicos de cardiopatías.

Conexión del paciente

Se refiere a la correcta colocación de los electrodos según las derivaciones que se deseen medir.

Acople de impedancias

Necesario para transferir la mayor cantidad de potencia que sea posible extraer de la señal.

Fuente de energía

Se debe alimentar el circuito mediante una tierra aislada, para que no circule corriente a través del paciente, y brindarle seguridad durante su uso.

Control de activación de filtros

Es un módulo que permite el cambio entre filtros para monitorización y diagnóstico, el cual permite suprimir señales externas que perturben, interfieran o alteren la señal ECG. Los filtros de alta y baja frecuencia reducen el ancho de banda, el ancho de banda recomendado para el ECG es de

0.05 a 100 Hz, dicho valor puede variar dependiendo del modo y tipo de paciente, que puede ser adulto, pediátrico o neonato.

La señal cardíaca se caracteriza por sus pequeñas amplitudes y baja frecuencia, por lo cual es necesario el uso de una etapa de filtrado para determinar el ancho de banda del circuito, entre los filtros empleados para ECG se encuentran el:

- Filtro pasa-banda.- Circuito diseñado para pasar señales solo en cierta banda de frecuencias, en tanto que rechaza todas las señales fuera de esta. Siendo el rango de frecuencia donde se encontrarán componentes relevantes entre 0.05 Hz a 100 Hz.
- Filtro rechaza-bandas.- Elimina un determinado valor de frecuencia, en este caso la frecuencia de 60Hz proveniente de la red eléctrica, la cual es una señal indeseable que se introduce al circuito.

Amplificación

La señal eléctrica generada por el corazón es muy pequeña, alrededor de 0.5 a 10 mV en la superficie de la piel. Por ello es necesario hacer uso de amplificadores bioeléctricos, llamados así debido a que procesa biopotenciales, para la obtención de ECG. La ganancia que deben aportar los diferentes tipos de amplificadores, está alrededor de x10 a x1000.

Unidad de salida

Es la visualización de la señal procesada registrada desde los electrodos. Brinda información importante en forma de curvas o valores numéricos, los cuales son significativos para el monitoreo del paciente. La visualización en el monitor, deberá mostrar el despliegue simultáneo de al menos 2 curvas a elegir de entre 7 derivaciones de ECG, además del despliegue numérico de otros parámetros como frecuencia cardíaca, y segmento ST.

Impresión

Se plasma la información del ECG en papel milimétrico, que varía según la cantidad de derivaciones adquiridas, también se manejan diferentes velocidades de impresión que permiten adaptarse a la frecuencia cardíaca del paciente. La impresión de la información del paciente, es una herramienta útil para el historial del mismo y permite el registro de algún acontecimiento importante o de relevancia.

Otros elementos con los que debe contar son:

▪ Circuito de protección contra descarga de desfibrilador

En el caso de usar el desfibrilador es común que el paciente esté conectado al ECG, lo que implica que este último, deberá soportar altos voltajes que pueden exceder los 1000 V, por lo cual, deberá contar con limitadores de sobrevoltaje, para evitar la destrucción de los amplificadores bioeléctricos, esto permite su utilización conjunta con el desfibrilador. Dicho circuito se encuentra enseguida de los electrodos y las especificaciones del sistema de protección varían con el modelo y el fabricante que lo elabora.

▪ Selector de derivaciones

Permite programar cuál o cuáles de las 7 derivaciones van a ser mostradas. Consiste en un arreglo de resistencias que obtiene el contenido de las señales de los electrodos, examinando la contribución de cada uno por medio de resistencias y logrando de esta manera la derivación de interés.

- **Análisis de arritmias**

La detección de arritmias es la función más importante del ECG durante la cirugía, la cual es posible por el uso de algoritmos computarizados. Son detectadas cuando la curva del ECG presenta cambios en sus ondas o complejos, indicando su origen y regularidad. El cambio en la frecuencia cardíaca determina si se está ante una frecuencia normal o ante una bradicardia, frecuencia menor de 60 lpm; o taquicardia, frecuencia mayor a 100 lpm.

- **Monitoreo, despliegue y análisis del segmento ST**

La determinación visual de los cambios en el segmento ST no son 100% fiables, por lo cual se ha incorporado un análisis computarizado que permite el análisis de tendencia del segmento ST, el cual ayuda a detectar: isquemia miocárdica, arritmias, trastornos de conducción, etc.

IV.3.1.2.- Derivaciones del ECG

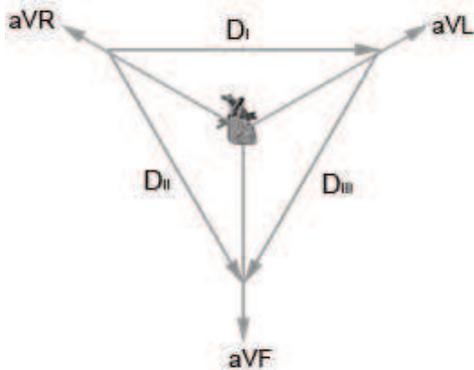
La ubicación de los electrodos en distintas zonas del cuerpo permite analizar la actividad eléctrica cardíaca, existen en total 12 derivaciones, de las cuales seis, analizan la actividad eléctrica cardíaca en el plano frontal, llamadas derivaciones de las extremidades y otras seis, que lo hacen en un plano horizontal, llamadas derivaciones precordiales. En el caso del monitor de signos vitales, es posible visualizar 3, 5 ó 7 señales cardíacas, dicho numero depende de la cantidad de electrodos que se colocan.

Derivaciones de las extremidades

Llamados así por la colocación de los electrodos en brazos y piernas, aporta información del plano frontal. Se divide a su vez en:

- **Derivaciones bipolares**

Formado por DI, DII y DIII, registran la diferencia de potencial entre dos electrodos ubicados en extremidades diferentes, donde DI es la diferencia de potencial entre el brazo derecho y el izquierdo; DII, entre el brazo derecho y la pierna izquierda y; DIII, entre la pierna izquierda y el brazo izquierdo.



Las tres derivaciones bipolares forman, en su conjunto, lo que se denomina el Triángulo de Einthoven, las cuales se pueden ver en la siguiente imagen IV.3.1.1. Los electrocardiogramas normales registrados en las tres derivaciones bipolares de las extremidades, se pueden observar en la siguiente imagen IV.3.1.2, las derivaciones I, II y III son similares entre sí, ya que todos registran ondas P y T positivas y la mayor parte del complejo QRS también es positiva.

Imagen IV.3.1.1.- Triángulo de Einthoven [p]

Como los registros de las derivaciones I, II y III son similares entre sí, no importa mucho qué derivación se registra cuando se quieren diagnosticar diferentes arritmias cardíacas, ya que el diagnóstico de las arritmias depende principalmente de las relaciones temporales entre las diferentes ondas del ciclo cardíaco, pero para diagnosticar la lesión del músculo ventricular o auricular o del sistema de conducción de Purkinje, la elección de las derivadas es importante, porque las alteraciones de la contracción del músculo cardíaco o de la conducción del impulso cardíaco modifican los patrones de los electrocardiogramas en algunas derivaciones, aunque pueden no afectar a otras.



Imagen IV.3.1.2.- Electrocardiogramas normales de las derivaciones I, II y III [s]

- **Derivaciones monopoles o aumentadas de las extremidades**

Formado por aVR, aVL, y aVF, registran la diferencia de potencial entre un punto teórico en el centro del triángulo de Einthoven, con valor de 0 y el electrodo de cada extremidad, permitiendo conocer el potencial absoluto en dicho electrodo. En la derivación aVR el electrodo positivo está en el brazo derecho y es comparado con los electrodos de la pierna y brazo izquierdo; en aVL el electrodo positivo está en el brazo izquierdo y se compara con el del brazo derecho y pierna izquierda; en aVF el electrodo positivo está en la pierna izquierda y se compara con ambos brazos.



Imagen IV.3.1.3.- Electrocardiogramas normales de las derivaciones aVR, aVL y aVF [s]

Las derivaciones bipolares y monopoles usan los mismos electrodos, solo que ven el corazón desde diferente punto de vista. En la imagen IV.3.1.3 se muestran un ejemplo de los registros normales de las derivaciones monopoles ampliadas.

Derivaciones precordiales

Llamados así por la colocación en determinadas posiciones del tórax, aporta información del plano horizontal. Son unipolares y se enumera del V1 al V6, registran el potencial absoluto del punto donde está colocado el electrodo del mismo nombre, tienen mayor cercanía con el corazón, por lo que no necesitan aumentarse como las monopoles de las extremidades.

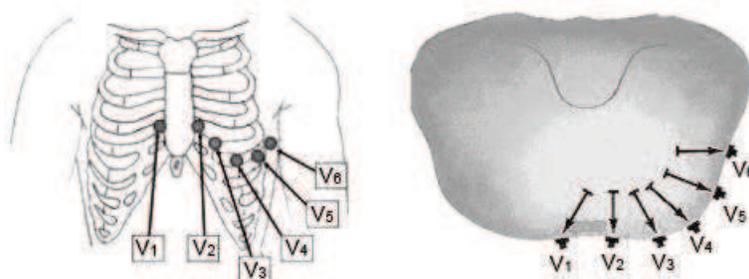


Imagen IV.3.1.4.- Colocación de los electrodos para las derivaciones precordiales [a] y [r]

La colocación de los electrodos es la siguiente:

- V1: Se posiciona en el IV espacio intercostal a la derecha del esternón.
- V2: Está en el IV espacio intercostal a la izquierda del esternón.
- V3: Está a medio de V2 y V4.
- V4: A la izquierda de la línea medioclavicular en el V espacio intercostal.
- V5: En el V espacio intercostal en la línea axilar anterior.
- V6: Localizado en el V espacio intercostal en la línea medio axilar izquierda.

Los registros se conocen como derivaciones V1, V2, V3, V4, V5, y V6. En la imagen IV.3.1.5, se muestran los electrocardiogramas del corazón sano que se registran con estas seis derivaciones. Como las superficies del corazón están próximas a la pared torácica, cada una de las derivaciones del tórax registra principalmente el potencial eléctrico de la musculatura cardíaca que está inmediatamente debajo del electrodo. Por tanto, alteraciones relativamente pequeñas de los ventrículos, particularmente de la pared ventricular anterior, pueden producir grandes alteraciones de los electrocardiogramas que se registran en las derivaciones individuales del tórax.

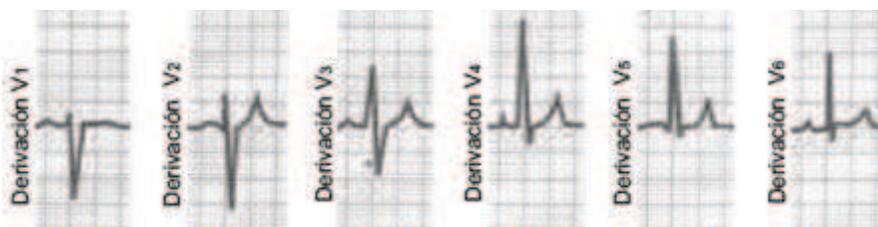


Imagen IV.3.1.5.- Electrocardiogramas normales de las derivaciones V1, V2, V3, V4, V5, y V6 [s]

IV.3.1.3.- Electrocardiograma

Los 12 trazos detectan una actividad eléctrica levemente diferente según la posición que ocupa respecto al corazón. Mediante la comparación de los trazados entre sí y los trazados normales, es posible determinar: si el sistema de conducción está alterado, si el corazón está agrandado, si ciertas regiones del corazón están dañadas o la causa de la precordialgia. A continuación se muestra un trazo típico, donde se observan las curvas, intervalos y segmentos del ECG.

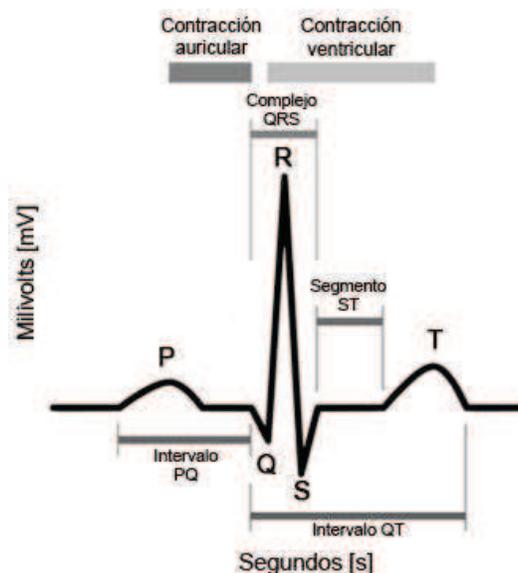


Imagen IV.3.1.6.- Electrocardiograma normal [s] y [a]

Onda P: Es una pequeña deflexión positiva. Representa la despolarización auricular, que se propaga desde el nodo SA a través de las fibras contráctiles en ambas aurículas.

Complejo QRS: Comienza con una deflexión negativa, continúa con una importante onda triangular positiva, y termina con una onda negativa. Representa la despolarización ventricular rápida, a medida que el potencial de acción progresa a través de las fibras ventriculares contráctiles.

Onda T: Es una deflexión positiva abovedada. Representa la repolarización ventricular y aparece justo cuando los ventrículos están comenzando a relajarse. Es más pequeña y más ancha que el complejo QRS debido a que la repolarización se produce más lentamente que la despolarización. Durante la fase de meseta de la despolarización sostenida, el trazado del ECG permanece plano.

Intervalo PQ: Es el lapso entre el comienzo de la onda P y el comienzo del complejo QRS. Representa el tiempo de conducción desde donde comienza la excitación auricular hasta el inicio de la polarización ventricular, es decir, es el tiempo requerido para que un potencial de acción viaje a través de la aurícula, el nodo AV y las fibras remanentes del sistema de conducción.

Segmento ST: Comienza al final de las ondas y termina en el inicio de la onda T. Representa el tiempo en el que las fibras ventriculares contráctiles están despolarizadas en la fase de plateau o meseta del potencial de acción.

Intervalo QT: Se extiende desde el comienzo del complejo QRS hasta el final de la onda T. Representa el tiempo que transcurre desde el comienzo de la despolarización ventricular hasta el final de la repolarización del ventrículo.

IV.3.2.- Presión Arterial No Invasiva (PANI)

El monitoreo continuo de la presión arterial ha demostrado disminuir la morbilidad, ya que ayuda a detectar la mala perfusión de los diferentes órganos, la monitorización es elemental para evaluar los efectos de la anestesia sobre el sistema cardiovascular. Es fundamental ya que se trata de un parámetro que varía en función de las características del paciente, de la técnica anestésica y de las características de la cirugía. Se mide la presión arterial sistólica, diastólica y media; para determinar la vitalidad del corazón, su eficacia y el estado circulatorio.

La presión arterial sistólica (PAS), es la máxima presión que registra el sistema circulatorio, coincidiendo con la sístole del ventrículo izquierdo; la presión arterial diastólica (PAD), es la presión mínima que registra la arteria, que coincide con la diástole del ventrículo derecho; la presión arterial media (PAM), es la presión arterial promedio durante un ciclo cardiaco y representa la fuerza media que tiende a impulsar la sangre por todo el sistema circulatorio. Los cambios en la PAS se correlacionan con los cambios de la demanda miocárdica de oxígeno, mientras que los cambios en la PAD y PAM reflejan los cambios en el suministro de oxígeno al miocardio. Se mostrarán en la pantalla el despliegue numérico, donde se considera un valor normal en un adulto de 100 a 140 mmHg para la PAS y 60 a 90 mmHg para la PAD, mientras que para la PAM, un rango de 70 a 105 mmHg son valores normales. La presión arterial se muestra en fracción, con la lectura sistólica arriba y la diastólica debajo, los valores de presión arterial varían con la edad, sexo y talla, y es característica de cada persona, por lo tanto, un valor o intervalo normal estará establecido por la historia clínica de cada paciente.

IV.3.2.1.- Modos para la toma de presión

La PAS, PAD y PAM pueden ser tomada de manera automática programada o en intervalos establecidos y accionados por el médico. Cabe destacar que durante el procedimiento quirúrgico se sugiere la toma continua en intervalos no mayores de 5 minutos, pero esto puede variar según las consideraciones del médico, de la condición del paciente y el tipo de procedimiento que se realiza.

Toma de la PANI: Automática programada

La manera en la que se mide la PANI desde el monitor de signos vitales se basa en el método tradicional, pero en este caso, no existe un operador, los ruidos son percibidos por el equipo mediante oscilometría en forma de cambios pulsátiles de presión dentro del sistema, recogidos por un amplificador y procesados por un microprocesador. Este sistema permite hacer mediciones programadas en intervalos de tiempo elegidos por el médico. En la toma de presión automática se infla y se desinfla un brazalete en forma automática y periódica para determinar la PAS, PAD y la PAM y sigue el siguiente funcionamiento:

1. Se inicia el ciclo de medición con el inflado automático del brazalete hasta un nivel de presión mayor que la sistólica estándar, es decir, 170 mmHg o a 40 mmHg más, deberá tener un ajuste automático de la presión de acuerdo con el tipo de paciente seleccionado, es decir, con cifras programadas y con el tamaño de brazalete adecuado, según el paciente sea: neonato, pediátrico o adulto. Las paredes de la arteria comienzan a vibrar u oscilar a medida que la sangre fluye a través de ella, la cual se encuentra parcialmente ocluida, estas vibraciones son captadas en el transductor que monitorea la presión sanguínea.
2. Se continúa con el desinflado automático y gradual del brazalete de 3 a 5 mmHg/s, las oscilaciones aumentan hasta una amplitud máxima y luego disminuyen hasta desaparecer, momento en que la banda se desinfla completamente y el flujo de sangre regresa a la normalidad.
3. Una vez que se detecte la presencia de un pulso bajo, un microprocesador analiza las oscilaciones que se producen en el brazalete.
4. Cuando las oscilaciones comienzan rápidamente a aumentar en amplitud, corresponden con la PAS, la presión en el punto de máxima oscilación corresponde a la PAM y el instante en que esta variación de las oscilaciones finaliza, corresponde con la PAD. En la imagen IV.3.2.1 se observa la curva de presión oscilatoria.

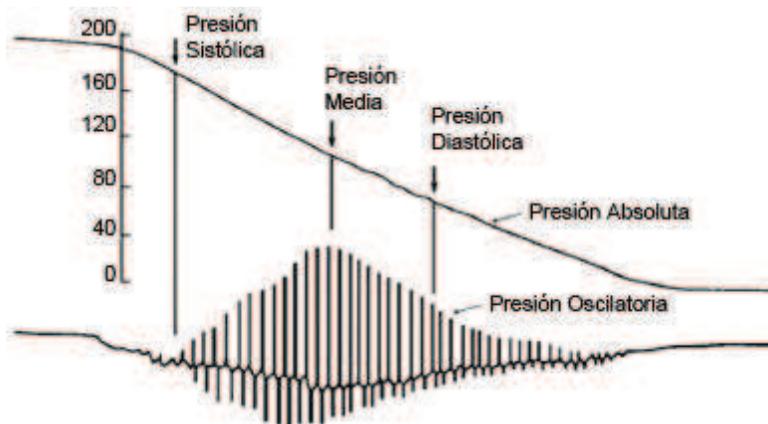


Imagen IV.3.2.1.- Curva de presión oscilatoria [2]

Toma de la PANI: Manual

Sigue el mismo procedimiento que la automática programada, con la diferencia que es el operador el que decide en que momento e intervalo se hace la toma. Esto lo realiza desde los botones y mandos del monitor de signos vitales, donde puede iniciar o cancelar el inflado del brazalete, cada vez que lo requiera. Los valores obtenidos quedan visualizados en pantalla y guardados en la memoria hasta que son sustituidos por una toma más reciente.

IV.3.3.- Presión Arterial Invasiva (PAI)

Como su nombre lo indica, la PAI es un proceso invasivo que se realiza por medio de la colocación de un catéter dentro de una arteria, en la gran mayoría de los casos se utiliza para procedimientos mayores. Este método realiza la medición de la presión en el interior de una arteria y por lo tanto es necesaria la colocación de un catéter intravascular, se conecta a un transductor de presión, que convierte una señal mecánica en una eléctrica, para mostrar un valor en el monitor. Entre los sitios de punción se encuentra: la arteria radial; la arteria braquial o axilar y la arteria femoral.

IV.3.3.1.- Medición de la PAI

El punto de medición se comunica mediante un sistema, donde un catéter situado en el interior del espacio arterial se une a unas tubuladuras, donde el sistema está lleno de un fluido no compresible, como suero salino, que transmite la presión hasta el transductor. Cuando una onda de presión es captada por el catéter, se produce su transmisión a través de un sistema de tubos llenos de solución salina heparinizada hasta una cámara localizada dentro del transductor, en la que hay una membrana cuya deformación por la presión, trasmite la energía mecánica hacia un transductor que convierte los cambios de presión en cambios de voltaje. Estos cambios son analizados por el microprocesador, donde la señal generada se procesa, se amplifica y se despliega como un valor numérico en la pantalla, correspondiente a la presión máxima, mínima y media, según el caso. Por ello, se considera al sistema catéter-tubos llenos de líquido, como los encargados de transmitir la onda de presión desde el interior del espacio arterial, cuya presión se va a medir hasta el transductor.

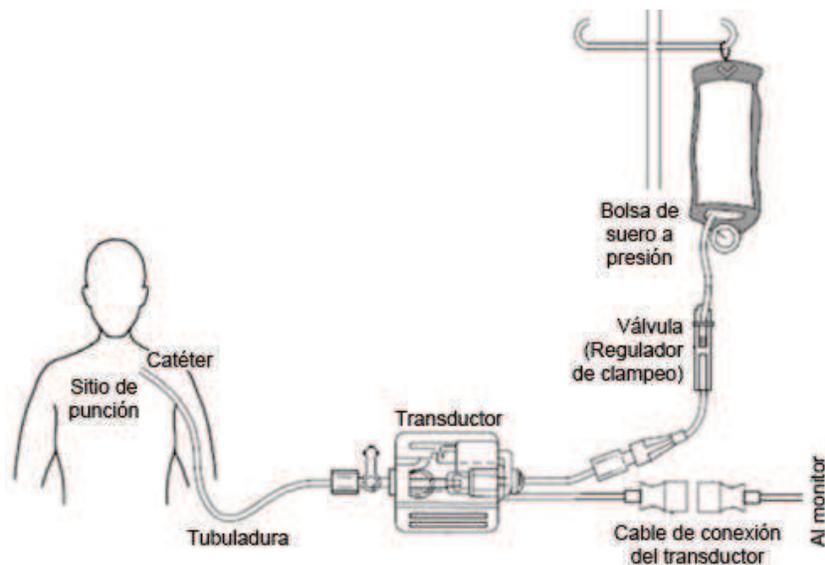


Imagen IV.3.3.1.- Sistema de medición de la PAI [1]

En la imagen IV.3.3.1 se puede ver un ejemplo del sistema para la toma de la PAI. El sistema de medición para la PAI está formado por:

- **Catéter**

Es el elemento en forma tubular, que se coloca directamente en la zona cuya presión deseamos medir. Sus características dependerán de las necesidades concretas de cada caso pudiendo existir variaciones en cuanto a los materiales, longitud y calibre; los cuales puede modificar los resultados.

- **Tubuladuras**

Son las responsables de la unión entre el catéter y el transductor, transmite la onda de presión entre ambos puntos. Sus características son de importancia, ya que su rigidez y longitud son determinantes para el transductor.

- **Presurizador**

El buen funcionamiento del sistema necesita un sistema de presurización para evitar que la sangre avance por él o se coagule en la punta del catéter, produciendo una medición errónea, está constituido por un sistema que une uno de sus extremos a la parte posterior del transductor y otro por la parte distal a una bolsa de suero, que a su vez ha sido introducida en una bolsa inflable que transmite la presión a dicha bolsa. En su unión al transductor existe una válvula que impide el paso de suero a alta presión al interior de las tubuladuras pero mantiene un flujo constante de unos 3 ml/h.

- **Transductor de presión**

Es el encargado de transformar la presión en una señal eléctrica, es un dispositivo formado por cinco elementos:

1. Membrana, situada en la cámara del transductor, está en contacto con el líquido transmisor de la presión y se deforma de manera proporcional a dicha presión.
2. Manómetro, permanece en contacto con la membrana y modifica su resistencia eléctrica en función de la deformación. Recibe una determinada corriente eléctrica de entrada y ofrece otro voltaje de salida de acuerdo con su resistencia en ese momento. Dicho voltaje es proporcional a la presión recibida y es enviado a un microchip que realiza un primer procesamiento.
3. Microchip, recoge la señal procedente de la membrana y la procesa, cada microchip está programado para compensar errores generados por tubuladuras y calibres, por lo cual, cuando se modifican estos parámetros, la corrección no se adapta a las variaciones y se genera un error de medición. Por último, el microchip envía la señal a un amplificador que permite su visualización en el monitor.
4. Cámara, es el espacio que pone en contacto directo el líquido transmisor de la presión y la membrana deformable, es decir, es el lugar donde se verifica la transducción. El diseño de la cámara tiene gran influencia en el resultado final, como lo tiene el sistema formado por catéter-tubuladura-transductor, su superficie interna debe ser lineal y sin irregularidades para evitar alteraciones de la transmisión por reflexión o difracción de la onda de presión. Existen dos diseños básicos para este espacio: en forma de cúpula o cilíndrico.

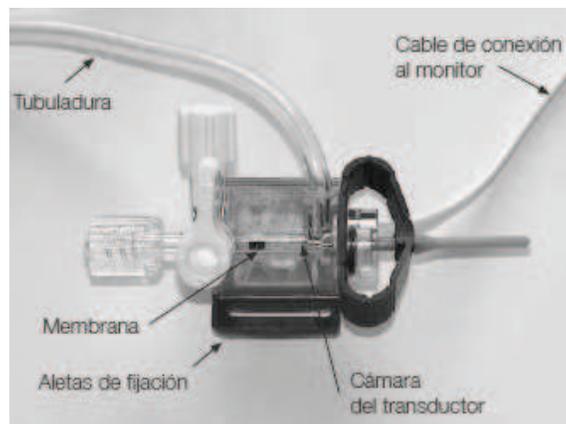


Imagen IV.3.3.2.- Elementos de un transductor de presión [1]

5. Cable de conexión del transductor al monitor, el transductor tiene un cable lateral que se conecta a un cable intermedio situado entre el dispositivo y el monitor. La función de esta conexión es establecer una comunicación bidireccional entre el transductor y el monitor.

IV.3.4.- Temperatura

Es necesaria la vigilancia y la medición de la temperatura corporal, la cual proporciona un dato esencial para la monitorización del paciente, el ser humano necesita que su temperatura corporal se encuentre dentro de un margen estrecho y constante, de alrededor de unos 37°C, el aumento o disminución de este valor puede ocasionar diversos efectos adversos sobre las funciones del cuerpo. En quirófano el paciente puede presentar pérdida de la temperatura, lo cual puede ser producido por la inducción de anestésicos, relajantes musculares, ambiente frío de la sala de cirugía, exposición quirúrgica, intervenciones prolongadas, ventilación mecánica con gases fríos, etc. Se recomienda la medición de la temperatura central a través de sensores reusables como los: rectales, nasofaríngeos, esofágico y timpánicos; debe ser una medida estandarizada en todos los pacientes que vayan a ser sometidos a anestesia general.

La medición periférica es bastante imprecisa, ya que esta se ve comprometida por factores externos como la temperatura del ambiente, perfusión de la piel, etc. Algunos monitores cuentan con un sistema dual de temperatura, donde en la pantalla se muestran valores simultáneos de las temperaturas de cada canal, algunos referirán una temperatura diferencial entre T1 y T2.

IV.3.4.1.-Tipos de sensores

Los dispositivos que se utilizan para determinar la temperatura pueden clasificarse en tres categorías:

- **Termopares**

Son dispositivos formados por la unión de dos alambres metálicos diferentes soldados por uno de sus extremos hasta formar una unión, llamada unión caliente, cualquiera de los extremos libres serán las uniones frías. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce un voltaje proporcional a la temperatura. Es fabricado con metales y aleaciones metálicas especiales como: platino, hierro, cobre, rodio, renio, tungsteno, cromel (Ni, Cr), constantán (Cu, Ni), alumel (Ni, Al, Mn, Si), nicrosil (Ni, Cr, Si), etc. Estos dispositivos están protegidos por una funda o cubierta metálica, generalmente de acero inoxidable, cuyo espesor determina la velocidad de respuesta y la robustez de la sonda, debido a que el voltaje de salida es relativamente pequeño, debe hacerse uso de amplificadores. La relación entre la temperatura y el voltaje no es lineal, y por este motivo cuando se desea obtener precisión deben emplearse circuitos que compensen las variaciones de temperatura en la unión fría, en general son sensores simples que no requieren alimentación externa, su costo es bajo y poseen un amplio espectro de temperaturas.

- **Termistor**

Son resistores sensibles a la temperatura, presentan un gran cambio en su resistencia eléctrica cuando sufre variaciones relativamente pequeños de la temperatura. Están compuestos por materiales semiconductores como el óxido metálico o como el silicio. Existen termistores con coeficiente de temperatura positivo, es decir, que su resistencia eléctrica aumenta al subir la temperatura, y con coeficiente de temperatura negativo, es decir, que su resistencia disminuye con el incremento de la temperatura. En general los termistores poseen un alto nivel de salida ya que su sensibilidad es alta y son rápidos. Igual que los termopares, son no lineales, y su espectro de temperatura es limitado, son frágiles, requieren una fuente de corriente y son proclives al autocalentamiento.

- **Sensores de estado sólido monolítico**

Son dispositivos de silicio que modifican el voltaje o la corriente de salida con las variaciones de temperatura. Se caracterizan por su pequeño tamaño, poseen un espectro de temperatura que comprende desde los -50°C hasta los 150°C , se denominan activos y se emplean principalmente para medir señales débiles. No requieren etapas de linealización, amplificación o compensación externas debido a que incorporan en la misma pastilla semiconductoras sus propios circuitos de procesamiento de señales.

IV.3.5.- Oximetría de Pulso (SpO_2)

Es un método sencillo y no invasivo para medir y monitorear continuamente e instantáneamente la oxigenación de la hemoglobina arterial, haciendo uso de la espectrofotometría, se evalúa la SpO_2 al medir los cambios en la absorción de la luz transmitida a través de un lecho capilar, sincronizado con el pulso. Este sistema de detección consta de diodos emisores de luz (LED), fotodetectores y microprocesadores, su funcionamiento se basa en el principio de la absorción diferencial de la luz para determinar el porcentaje de saturación de oxígeno.

Se coloca un sensor a cada lado de un lecho vascular pulsátil, como la yema del dedo o el lóbulo de la oreja, donde la cantidad de sangre está variando constantemente debido al movimiento de la sangre en cada latido, por ello, los haces de luz atraviesan no solo un volumen relativamente estable de hueso, tejido blando y sangre venosa, sino también atraviesan sangre arterial, formada por una porción no pulsátil y una porción pulsátil variable.

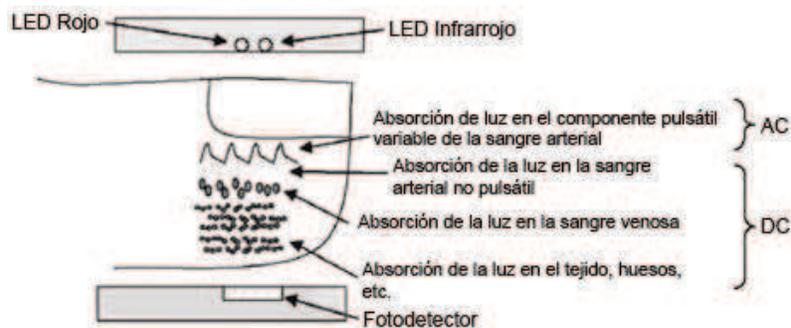


Imagen IV.3.5.1.- Medición y monitorización de la oxigenación de la hemoglobina arterial, SpO_2 [m]

Al medir la luz transmitida centenares de veces por segundo, se logra diferenciar entre el componente pulsátil variable (AC) del flujo arterial y el componente estático fijo de la señal (DC) emitida por el tejido blando, la sangre venosa y la sangre arterial no pulsátil. Los LED de un lado del sensor envían dos longitudes de onda de luz: una roja de 600 a 750 nm; y una infrarroja de 850 a 1000 nm, donde una determinada cantidad de luz roja e infrarroja es absorbida por los tejidos. La hemoglobina reducida absorbe mucha más luz roja que la oxihemoglobina, la cual absorbe más luz infrarroja, las dos longitudes de onda de luz atraviesan el lecho vascular hasta el otro lado del sensor, donde un fotodetector recibe y mide la cantidad de luz no absorbida en cada longitud de onda, lo que a su vez permite que el microprocesador determine un número muy específico para la cantidad de hemoglobina y oxihemoglobina presente.

IV.3.5.1.- Curva de pletismografía

Es la onda de pulso que representa la imagen especular de la forma de la onda de la intensidad de la luz recibida en el fotodetector. En la imagen IV.3.5.2 se observa que los cambios en la intensidad de dicha luz se manifiestan como desviaciones hacia arriba o hacia abajo en el

pletismograma, estos cambios se pueden expresar como el factor de amplitud de pulso (FA), que se expresa en forma de porcentaje de la siguiente manera: $FA = (I_{MÁX} - I_{mín} / I_{MÁX}) \times 100\%$.

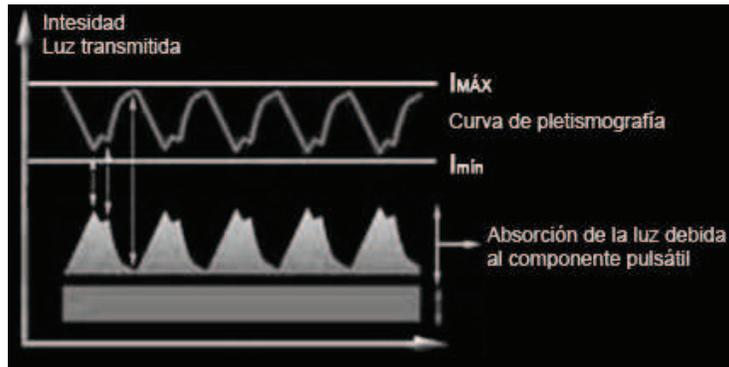


Imagen IV.3.5.2.- Curva de pletismografía obtenida de la intensidad de la luz recibida en el fotodetector [n]

Este factor refleja los cambios en el volumen sanguíneo y es un indicador de la perfusión en el lugar donde se esté realizando la medición. Cuanto menor es el factor amplitud menor será el cambio que se ha producido en el volumen sanguíneo y viceversa; el primero de los casos indicará vasoconstricción y el segundo vasodilatación, como se observa en la siguiente imagen.



Imagen IV.3.5.3.- Factor amplitud de la curva de pletismografía [n]

Por lo tanto, la curva de pletismografía brinda información acerca del volumen sanguíneo que contienen las arterias periféricas del lugar donde se esté realizando la medición.

IV.3.5.2.- Despliegue numérico de la SpO₂

Se visualiza en pantalla como porcentaje o en decimales y una vez que la cantidad de luz absorbida es identificada, un microprocesador diseñado para tal fin calcula la saturación de la hemoglobina y la altura de la curva de la amplitud del pulso, medidas que se visualizan en una gráfica y dos valores numéricos que representan la saturación y la frecuencia cardíaca, según sea la configuración del monitor.

El microprocesador conoce la cantidad de luz roja e infrarroja emitida, y detectada; la cantidad de señal estática y la cantidad de señal que varía con la pulsación, entonces establece lo que se conoce como cociente roja/infrarroja (R/IR) de (AC) de la sangre. La R y la IR de este cociente es el total de luz absorbida en cada longitud de onda, respectivamente, sólo para la porción AC. Dicho cociente es procesado por un algoritmo preestablecido que proporciona al microprocesador el porcentaje de hemoglobina oxigenada en sangre arterial, es decir, el porcentaje de saturación de oxígeno, %SpO₂. Se considera un valor del 95% en adelante como un nivel normal de SpO₂ de un paciente sano, si durante un procedimiento quirúrgico el valor es menor de 94%, se debe averiguar

y corregir la causa. La SpO₂ ayuda a detectar el descenso de los niveles antes de que ocurra daño, y en general, antes de que aparezcan los signos físicos.

IV.3.6.- Capnografía (CO₂)

Es la medición continua de la concentración del CO₂, en los gases inspirados o espirados, siendo EtCO₂ la presión o fracción parcial máxima de CO₂ obtenida al final de la espiración y FiCO₂ durante la inspiración. La medición del CO₂ espirado representa: la apropiada oxigenación de las células, el transporte normal de la sangre hacia la circulación pulmonar, funcionalidad de la membrana alvéolo-capilar y la mecánica ventilatoria normal de expulsar CO₂ de los pulmones; por lo cual es elemental para analizar los procesos hemodinámico y respiratorio del paciente. Es un proceso no invasivo que muestra en tiempo real el manejo del estado respiratorio, los valores normales de la presión arterial de CO₂ oscilan entre 35 y 45 mmHg. Para el principio de operación de la capnografía se hace uso de tecnologías ya mencionadas en el subcapítulo IV.2.3.4, las cuales son empleadas para conocer la concentración de CO₂.

IV.3.6.1.- Posición del muestreo

El flujo de gas del sistema respiratorio puede ser analizado de 3 maneras, como se muestra a continuación.

- **Flujo lateral (sidestream)**

El gas se recolecta con un tubo interno de 1.2 mm de diámetro, el cual está conectado a un adaptador cerca del final del sistema respiratorio del paciente. El adaptador lleva el gas a la cámara de muestreo, hecha de teflón, lo que la hace impermeable al CO₂ además de no reaccionar con agentes anestésicos. Se emplea infrarrojos para el muestreo. [48]

- **Flujo principal (mainstream)**

Empleado mayormente en pacientes intubados. La cámara de análisis se encuentra dentro del flujo de gases del paciente, cerca del final del sistema respiratorio del mismo. Presentan la ventaja sobre los de flujo lateral, ya que no hay un retraso entre los cambios de composición en la muestra de gas, no se pierde gas en las uniones de las tuberías, no se mezclan a lo largo del tubo capilar antes del análisis y hay pocos problemas causados por vapor de agua. Pero requiere calibración de rutina, el sensor no es desechable y puede resultar caro, además las aberturas del sensor pueden ser bloqueadas por secreciones. [48]

- **Flujo bajo (microstream)**

Se toma una muestra de los gases inhalados y exhalados desde el circuito respiratorio o directamente desde el paciente, una vez dentro del sensor la muestra de gas de alrededor de 15µl, atraviesa una microcelda de muestra, este volumen extremadamente pequeño es barrido rápidamente, permitiendo una reacción veloz y lecturas de CO₂ precisas. Una fuente de radiación infrarroja ilumina la microcelda de muestra y la celda de referencia, generando oscilogramas específicos para el CO₂. La IR que pasa a través de la microcelda de muestra y de la celda de referencia son medidas por los detectores de IR, y una comparación de señales de ambos canales permite conocer su concentración. [49]

IV.3.6.2.- Despliegue de curva y valores numéricos

El capnograma es la representación de la curva de capnografía, mientras que la capnometría es la medida en valores numéricos de la concentración del CO₂. El capnograma se genera por la exposición continua de la concentración de CO₂ en las vías aéreas del paciente, en función del tiempo, ratifica las mediciones numéricas del EtCO₂ y su interpretación aporta información de las

condiciones fisiológicas y patológicas del paciente. La curva normal que se observa en el monitor se divide en cuatro fases distintas, como se observa en la imagen IV.3.6.1.

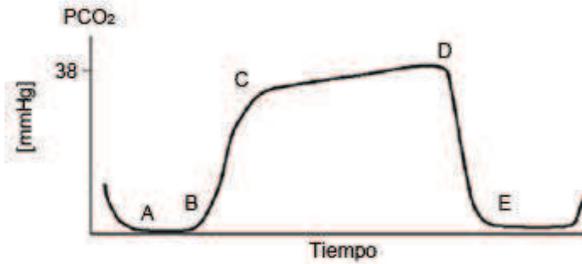


Imagen IV.3.6.1.- Capnograma ideal [m]

La fase A, es la línea basal que corresponde al final inspiración y por lo tanto se encuentra libre de CO_2 ; la fase B es el ángulo de despegue, representa el inicio de la espiración; la fase C es el ángulo de elevación, la meseta espiratoria formada de C a D es rica en CO_2 alveolar; la fase D determina el punto más alto, en el cual se mide la EtCO_2 , de D a E se presenta un ángulo de descenso, el cual es producido por la entrada de gas fresco ocasionado por la inspiración, para llegar a la fase E, declinación hacia la línea basal propia de la inspiración para el reinicio de la espiración. La descripción anteriormente mencionada es propia de pacientes sin dificultad respiratoria, donde la curva presenta una forma rectangular, con un rápido incremento de la concentración de CO_2 durante la espiración; y un descenso hasta un nivel basal, el cual representa la ausencia de reinhalación.

Los valores y la forma de la curva ayudan a detectar la desconexión del circuito o el mal funcionamiento de las válvulas inspiratoria o espiratoria, además del mal funcionamiento del ventilador o la presencia de reinhalación de gases.

IV.3.7.- Espirometría

Realiza pruebas de la función respiratoria, consiste en registrar el volumen de aire inhalado y exhalado con relación al tiempo durante una serie de maniobras ventilatorias. Permite la obtención de curvas que permiten determinar el patrón ventilatorio del paciente, así como medir volúmenes pulmonares, flujos máximos, consumo de oxígeno por minuto, presiones de las vías respiratorias, la resistencia de las vías respiratorias en cada respiración, etc. Entrega información valiosa en relación con la integridad de la vía aérea y de la función pulmonar.

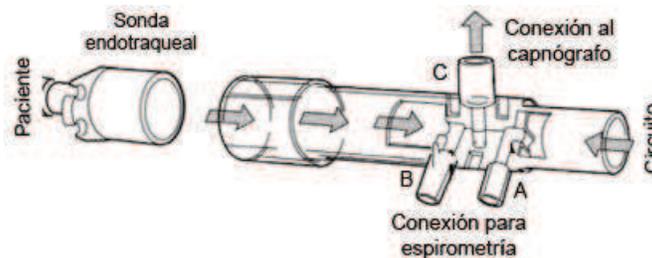


Imagen IV.3.7.1. Sensor de presión y flujo [m]

La aplicación de la espirometría intraoperatoria, permite obtener información del paciente intubado. Como se muestra en la imagen IV.3.7.1, esto se logra a través de un tubo interpuesto entre la sonda endotraqueal y la pieza en Y. Los conectores A y B se conectan al módulo de espirometría

por medio de tubuladuras o líneas de muestra, el cual mide la presión a este nivel. Este dispositivo incorpora mediciones de flujo, presión de vía aérea, y medición de gases lateral al flujo.

Para efectuar el proceso se emplea un transductor de tipo Turbina en forma de hélice y rotor, en el cual el flujo de aire que pasa realiza un giro, el ángulo al que gira el rotor es directamente proporcional al volumen de fluido que atraviesa la turbina y la constante de proporcionalidad depende de la forma física de la misma.

El detector de giro de la turbina consta de tres parejas de diodo emisor y fototransistor de luz infrarroja, permiten detectar el giro del rotor y su sentido. El número de interrupciones del haz equivale a un ángulo acumulado de giros del rotor y por tanto del volumen de aire que ha atravesado la turbina. El fototransistor proporciona una señal eléctrica de tipo digital que representa las interrupciones del haz luminoso y que es directamente adquirida por el microprocesador, donde se gestiona, recibe y envía información, que después será mostrada en la pantalla.

La información de la espirometría se muestra como lazos o bucles, que ayudan a detectar fugas u obstrucciones en las vías respiratorias y asiste para ajustar los valores óptimos para el ventilador. El despliegue numérico y de curvas de la lista siguiente se encuentran detallados en la sección IV.2.3.4 de este capítulo:

- Volumen Corriente
- Volumen minuto
- Compliance y/o resistencia pulmonar
- Curva de flujo
- Lazo presión-volumen
- Lazo flujo-volumen

V.3.8.- Índice biespectral (BIS)

La monitorización de sedación es la herramienta utilizada para la determinación de la profundidad anestésica. Anteriormente la prueba más común para determinar la profundidad de la anestesia consistía en medir la respuesta a una orden verbal, por ejemplo la escala OAA/S (Observer's Assessment of Alertness/Sedation Scale), la cual se clasifica en cinco grados:

Grado	Signo
5	Despierto
4	Sedado, obedece una orden compleja
3	No responde a la orden verbal, pero si al estímulo
2	No responde al estímulo superficial
1	No responde al estímulo intenso

Tabla IV.3.8.1.- Escala OAA/S

La aparición más reciente del índice biespectral (BIS) ha proporcionado un método objetivo de monitoreo de la profundidad de la sedación con buena relación clínica, en comparación con las escalas clásicas. El BIS es un instrumento que evalúa la profundidad anestésica, capturando la actividad eléctrica cerebral, y está definido por el análisis del EEG de más de 2000 pacientes durante diferentes tipos de anestesia general.

IV.3.8.1.- Obtención del Índice Biespectral

Un sensor desechable y que no contiene látex, ya sea para neonato, pediátrico o para adulto, es colocado en la frente del paciente para captar las señales electroencefalográficas, las cuales llegan a un convertidor digital de señales, que amplifica y digitaliza las señales electroencefalográficas para una mejor interpretación de las mismas hasta el BIS, donde se traduce la actividad eléctrica del cerebro en un valor simple de índice biespectral.

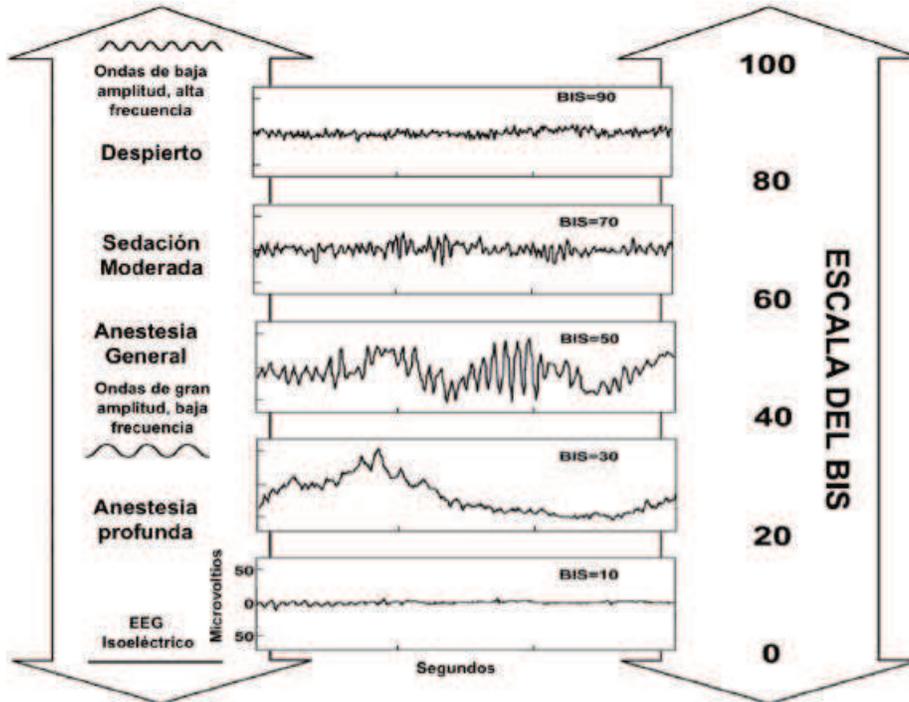


Imagen IV.3.8.1.- Representación gráfica del índice BIS y la señal subyacente del EEG [6]

El BIS es un parámetro numérico derivado de un análisis matemático del EEG, el que finalmente examina las modificaciones de voltaje a través del tiempo, mide los efectos sedantes e hipnóticos producidos por los agentes anestésicos en valores numéricos en una escala de 0 al 100, donde 0 representa la falta de actividad cerebral producida por el uso de drogas anestésicas y 100 para los pacientes totalmente despiertos, para cualquier valor por debajo de 70 significa muy poca probabilidad de conciencia transanestésica, el cual disminuye aún más con un valor de 60, menor de 40 indica anestesia quirúrgica, en la imagen IV.3.8.1., se pueden apreciar algunos ejemplos de curvas con su correspondiente valor BIS, y sus características. En la siguiente tabla se muestra el rango del índice biespectral para completar la información de la imagen, dichos valores numéricos y curvas son la información que se muestra en pantalla.

BIS	Grado de sedación
90-100	Despierto
70-90	Sedación leve a moderada
60-70	Anestesia superficial
45-60	Anestesia adecuada
0-45	Anestesia profunda

Tabla IV.3.8.2.- BIS y su relación clínica

IV.3.9.- Relajación muscular

La implementación de relajantes musculares en la anestesia general ha permitido reducir la aplicación en la dosis de anestésicos, lo que modifica la profundidad anestésica, beneficiando al paciente. Pero el uso de relajantes musculares implica un riesgo en el proceso de despertar de la anestesia, ya que una recuperación incompleta de la función neuromuscular puede ocasionar problemas principalmente físicos al paciente, por lo cual, la monitorización de la Relajación Muscular, también llamada Transmisión Neuromuscular (TNM), representa la medida continua del efecto de los relajantes musculares sobre los músculos del cuerpo humano.

Este método se basa en el estímulo periódico en un área nerviosa determinada y en el registro de la repuesta contráctil. El sistema se compone de un neuroestimulador que genera estímulos de gran intensidad, habitualmente 30-70 mA; de corta duración, alrededor de 0.1-0.3 ms; conectado a dos electrodos situados generalmente en el trayecto del nervio cubital, la respuesta contráctil del músculo aductor del pulgar se analiza mediante métodos subjetivos u objetivos.

El uso de uno o varios microcontroladores, permite al sistema TNM: generar distintos modos de estimulación, cuantificar la aceleración, analizar y desplegar resultados, además permite la comunicación TNM-usuario. La generación de estímulos a corriente constante, está determinada en forma directa por el voltaje, generalmente de 9 V; y en forma indirecta por la resistencia, que varía de acuerdo con las características del contacto electrodo-piel del paciente.

La fuente de corriente suministra hasta 80 mA sobre una resistencia de 4 K Ω , satisface las necesidades habituales de la mayoría de los casos clínicos, el único parámetro que varía es la frecuencia de estimulación. Los nervios que usualmente se estimulan son: el ulnar, el orbicular y el tibial posterior; con agujas percutáneas o electrodos; siendo de uso común el empleo de electros en el nervio ulnar, por ser una ubicación más cómoda durante la anestesia; como se muestra en la imagen IV.3.9.1, el electrodo positivo se ubica, en el sitio donde la interlínea articular cruza el tendón del flexor carpi ulnaris y el negativo se coloca a una distancia de 5cm del otro.

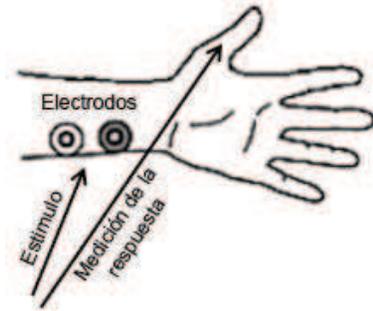


Imagen IV.3.9.1.- Estimulación en el nervio ulnar [w]

IV.3.9.1.- Modos de estimulación

Los estímulos eléctricos permiten medir el estado de la TNM de los pacientes anestesiados, estos tres modos de estímulos usados en la práctica clínica son:

Estímulo único o simple

Consiste en un estímulo supramáximo simple con una duración de entre 100 y 300 μ s, con intervalos ajustables por el usuario, y con frecuencias de entre 1 a 0.1 Hz, a un nervio periférico. Generalmente se emplea durante la inducción de la anestesia ya que acorta el tiempo necesario para determinar y expresar el grado de bloqueo neuromuscular. Se puede repetir a intervalos superiores entre 10 y 12 s, con impulsos regulares de intensidad 50 a 60 mA. La implementación de relajantes musculares modifica las respuestas a las estimulaciones, las cuales disminuyen progresivamente con el debilitamiento de la contracción y solo la respuesta al primer estímulo no está condicionada con las siguientes. En la imagen IV.3.9.2, se muestra un ejemplo de la respuesta producida por estímulos simples o únicos.

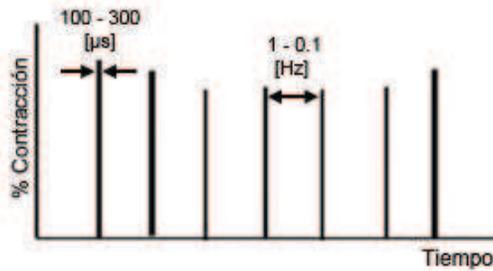


Imagen IV.3.9.2.- Estímulo único o simple [x]

Tren de cuatro

Es una serie de estímulos supramáximos de cuatro pulsos de 100 a 300 μs de duración a intervalos de frecuencia de 2 Hz, cada tren se repite con frecuencias no inferiores a 10 o 12 s, de forma continua o intermitente. Es el Tren de cuatro (TDC), el estímulo más utilizado en el monitoreo de la relajación muscular, permite cuantificar el grado de bloqueo neuromuscular sin necesidad de una respuesta de control previo. El porcentaje de contracción está dado por la relación del 4°/1° pulso, por lo tanto, cuatro respuestas representan el 75% o menos de bloqueo neuromuscular, la abolición de la cuarta respuesta del tren de cuatro es equivalente a un bloqueo neuromuscular de 80 %; la presencia de dos respuestas equivale a 90 %, mientras que una sola respuesta equivale aproximadamente al 95 %, y finalmente un 100% es cuando no hay ninguna respuesta.

Dicho proceso debe iniciar con la implementación de un primer TDC y determinar el primer % de contracción y el número de respuestas obtenidas, para después suministrar relajantes musculares, se monitorea la respuesta de estos, manualmente o en un intervalo de tiempo programado hasta llegar al estado de relajación ideal para la cirugía. En la imagen siguiente se muestra la respuesta a un estímulo en TDC.

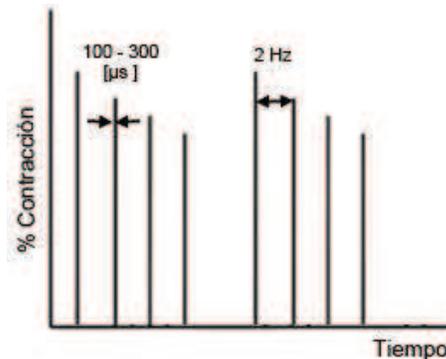


Imagen IV.3.9.3.- Estímulo Tren de cuatro [x]

Tetánico

Es un estímulo repetitivo a una frecuencia de 10 a 20 ms durante 5 segundos. Este estímulo sirve para establecer el tipo de relajante muscular utilizado para el bloqueo.

Si no hay bloqueo neuromuscular o si este es de tipo despolarizante, la contracción se mantiene mientras dure el estímulo y el decaimiento de la contracción muscular ante un estímulo tetánico es indicativo de un bloqueo no despolarizante. En la imagen IV.3.9.4 se muestra la respuesta a un estímulo tetánico.



Imagen IV.3.9.4.- Estímulo Tetánico [x]

IV.3.9.2.- Respuestas musculares

Existen dos métodos de seguir y registrar las repuestas del paciente a los relajantes musculares administrados, los cuales son:

Método de registro subjetivo

Empleado con frecuencia, consiste en la detección visual de la respuesta, por ejemplo, cuando se aplica un estímulo, se puede observar cómo se mueve el pulgar de la mano.

Método de registro objetivo

Donde la contracción producida, es desplegada de forma numérica en una pantalla, debido al uso de un transductor de fuerza que envía una señal, la magnitud de la señal es directamente proporcional a la fuerza de la contracción. Existen tres métodos de registro, siendo el tercero el más reciente y el de mayor uso.

- **Mecanomiografía**

Mide la fuerza mecánica de una contracción muscular. Se cuantifica la contracción isométrica del músculo aductor del pulgar seguida de la estimulación del nervio ulnar.

- **Electromiografía**

Monitoriza la actividad eléctrica de un músculo como respuesta a una estimulación nerviosa. La señal eléctrica obtenida depende de la localización, la relación al músculo, y de los electrodos utilizados.

- **Acelerometría**

Registra la aceleración de un músculo, por ejemplo del pulgar, en respuesta al estímulo de un nervio. Se emplea a músculos cuyo movimiento o aceleración ante un estímulo eléctrico pueda ser detectado. Cuando el pulgar responde a un estímulo con una respuesta, se produce una señal eléctrica proporcional a la aceleración generada, consiguiendo una medición objetiva de la función neuromuscular en tiempo real.

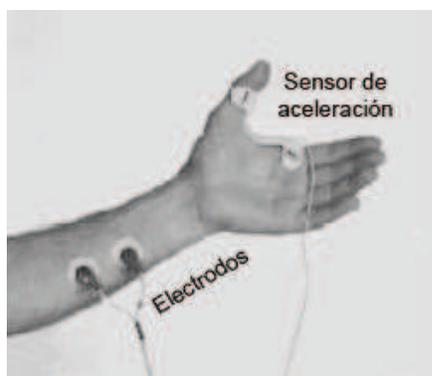


Imagen IV.3.9.4.- Acelerometría [w]

El sensor de aceleración se fija en la cara interna distal del pulgar, cuando se estimula eléctricamente el nervio ulnar, el dedo pulgar mueve el sensor, la señal generada por el elemento se mide durante el movimiento, siendo proporcional a la velocidad angular del movimiento del pulgar. El tamaño del área formada por la curva de velocidad angular, ilustra el valor del movimiento del pulgar dentro de un cierto intervalo de tiempo; calculando la integral de esta señal en función del tiempo, se obtiene la magnitud de la respuesta del músculo. Dicho sistema se muestra en la imagen IV.3.9.4.

IV.3.10.- Alarmas

El monitor de signos vitales cuenta con alarmas sonoras y visuales, establecen una importante medida de seguridad para el paciente, deben ser lo suficientemente sensibles para detectar fácil y rápidamente un acontecimiento crítico, dependiendo del peligro de la situación y de la rapidez con que debe ser atendida, las alarmas se clasifican en tres niveles de prioridad, las cuales ya fueron mencionadas en la sección IV.2.3.5 de este capítulo. En la siguiente lista se muestran los

parámetros fisiológicos monitorizados que pueden iniciar una alarma cuando existe alguna situación adversa o fuera de los límites deseados.

- Frecuencia cardíaca
- CO₂ (alta y baja)
- Saturación de oxígeno (alto y bajo)
- Temperatura (alta y baja)
- Presión arterial no invasiva: sistólica, diastólica y media (alta y baja)
- Presión arterial invasiva (alta y baja)
- Gases anestésicos
- Profundidad hipnótica
- Alerta de Apnea.
- Alarma de arritmia

IV.3.11.- Accesorios, consumibles y refacciones

La siguiente lista de accesorios será para paciente: neonato, pediátrico y adulto. Es valioso mencionar que la siguiente lista no es definitiva ni absoluta y serán las unidades médicas las encargadas de seleccionarlos de acuerdo con sus necesidades, asegurando su compatibilidad con la marca y modelo del equipo.

- ECG
Cable troncal y de paciente de al menos de cinco puntas, neonato, pediátrico y adulto.
- PANI
Brazaletes reusable para medición de la PANI, neonato, pediátrico, adulto y adulto obeso
Manguera con conector para los brazaletes
- PAI
Cables troncales para transductor
Kits de transductor desechable por cada canal
- Temperatura
Sensor reusable de piel o de superficie
Sensoresofágico o rectal
- SpO₂
Cable troncal, sensor tipo dedal y un sensor multisitio, reusables
- Capnografía
Sensor reusable, cable y adaptador de vías aéreas reusable (técnica mainstream)
Trampas de agua, líneas de muestra y adaptadores endotraqueales (técnica sidestream)
Líneas de muestra, adaptadores endotraqueales (técnica microstream)
- Espirometría
Líneas de muestra
- BIS
Sensor adulto y pediátrico
Electrodos
- TNM
Cable troncal
Sensor para uso pediátrico y adulto

Los consumibles se adquirirán en cantidades y tamaños de acuerdo con las necesidades operativas de las unidades médicas, de igual manera, en el caso de las refacciones.

CAPÍTULO V

Inspección y Mantenimiento

INTRODUCCIÓN

En este capítulo final se mencionarán rutinas y procedimientos realizados para el mantenimiento de la unidad de anestesia, con el fin de asegurar su buen funcionamiento y brindar la mayor seguridad al paciente que sea sometido a cualquier tipo de anestesia. De nueva cuenta, la siguiente información está fundamentada en la *Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia de CENETEC-Salud*. Es valioso mencionar que esta información solo es una referencia basada en las características comunes que comparten los equipos y no representa un proceso absoluto, ya que cada procedimiento de inspección, mantenimiento preventivo y correctivo, será específico para cada marca y modelo, tomando siempre en cuenta los procedimientos recomendados por el fabricante, el cual determinará los métodos y frecuencias requeridas para el equipo médico en cuestión.

V.1.- RIESGOS RELACIONADOS AL SISTEMA DE ANESTESIA

El mal funcionamiento, las instalaciones y situaciones relacionadas con el equipo pueden representar un riesgo para el paciente, el cual ya atraviesa una situación complicada al estar anestesiado y tener una cirugía en curso, también afecta e involucra a todo el personal que tenga contacto directo con el sistema de anestesia, a continuación se mencionan algunos de ellos.

V.1.1.- Riesgos eléctricos

Es el choque eléctrico por corrientes de fuga de los dispositivos médicos de monitoreo y registro que pueden producir daños severos al paciente que está en contacto directo con ellos. Por este motivo, es necesario que estos equipos tengan un suministro eléctrico con contactos polarizados de grado hospitalario y con tierra física. Estas medidas ayudan a reducir daños al paciente durante la monitorización, los cuales pueden perjudicar su salud, provocar una lesión, hacer un cambio en el funcionamiento normal del cuerpo o provocar la muerte del mismo.

V.1.2.- Riesgos mecánicos

Las desconexiones accidentales de tubos de conducción de gases que unen al paciente con la máquina de anestesia, provocan que el circuito de paciente quede abierto y que algún proceso no sea realizado, es decir, que se ve afectada la administración y desecho de gases del paciente durante la anestesia. La interrupción de la alimentación a la máquina igualmente representa la suspensión de la asistencia al paciente, este problema se minimiza en máquinas con batería interconstruida o en su caso, en el uso del UPS. Otros acontecimientos accidentales pueden ser el movimiento de los mandos de control, el desplazamiento e impacto del equipo y el daño de las mangueras de suministro de gases. Este tipo de errores, de carácter humano, pueden disminuirse con disciplina y la precaución del personal médico, lo cual, puede lograrse haciendo uso de las normas de señalización, claves de color, conectores específicos de cada gas, etc.

V.1.3.- Riesgos ambientales

El uso de gases y vapores pueden representar un peligro para el paciente, y el personal médico. Entre ellos se encuentran los gases de los vapores anestésicos, O₂ y el N₂O, estos dos últimos, a pesar de no ser peligrosos en sí, si avivan la combustión.

V.1.4.- Riesgos biológicos

La manipulación de los componentes externos e internos del equipo médico, puede representar un riesgo infeccioso al tener contacto directo con él, principalmente sino se tiene la precaución y la asepsia adecuada, ya que sin darse cuenta se puede entrar en contacto con fluidos y secreciones que puedan representar un peligro para la salud, no solo para el paciente sino también para el usuario del equipo médico. La asepsia en el equipo médico debe ser un procedimiento obligatorio, recurrente y correcto, se debe tener la atención de usar el producto y el procedimiento adecuado, que ayude a evitar la propagación de algún agente biológico, y que no dañe al equipo en el proceso.

V.1.5.- Riesgos de operación

La capacitación del personal es un factor importante para el uso correcto del equipo. La falta de esta o de destreza a un modelo en particular, puede producir la selección errónea de parámetros importantes, como la ventilación mecánica o el llenado de un vaporizador con el agente incorrecto, el mal funcionamiento de guarda hipóxica, inadecuado cambio de la cal sodada del canister, etc., comprometiendo la salud y la integridad del paciente.

V.2.- RUTINAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

Serán responsabilidad de la unidad de quirófano coordinar y programar los mantenimientos preventivos, esto con el propósito de asegurar la disponibilidad del equipo y que no se vea afectada ninguna cirugía. El reporte oportuno de alguna falla en el equipo médico, permite al personal especializado intervenir y realizar mantenimientos correctivos, donde se efectuarán tareas de asistencia y/o reparación, estos procesos ofrecen una segura aplicación de la anestesia, que es directamente proporcional a la conservación del bienestar del paciente. Las rutinas de mantenimiento se conforman en: rutina diaria, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

V.2.1.- Prueba diaria

Será el anestesiólogo encargado del procedimiento, realizar la revisión cotidiana de la máquina de anestesia. Es de carácter obligatorio hacerlo antes de cualquier acto anestésico, independientemente del tipo de anestesia que vaya a aplicarse, sea general o regional, sin importar que previamente se haya empleado con éxito para otro paciente. En la *sección VI de la Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia de CENETEC-Salud* se encuentra una rutina de revisión diaria del Sistema de Anestesia que a continuación se muestra.

1. *Presión de los gases en los manómetros de entrada al quirófano.*
2. *Conexiones entre las mangueras de entrada de gases y las del sistema de anestesia.*
3. *Presión de los gases en los manómetros del tablero frontal del sistema de anestesia.*
4. *Llaves de los flujómetros y el flujo de cada gas.*
5. *Sistema de protección contra mezcla hipóxica.*
6. *Posición y conexión de los vaporizadores.*
7. *Sistema de protección contra la administración simultánea de agentes anestésicos.*
8. *Nivel líquido de cada agente anestésico dentro del vaporizador.*
9. *Funcionamiento de la válvula de aporte rápido oxígeno (flush).*
10. *Conexión hermética de las mangueras en sus dos extremos.*
11. *Sensor de oxígeno.*
12. *Válvulas unidireccionales ensambladas correctamente.*
13. *Mangueras, conexión en Y, codo, línea de muestra del capnógrafo y bolsa reservorio en el circuito del paciente.*
14. *Válvula de sobrepresión.*

15. Estado del canister, de la cal sodada y de la válvula de drenaje de agua.
16. Hermetismo y patencia del circuito.
17. Funcionamiento neumático, electrónico y de las alarmas de todos los subsistemas.
18. Conexión adecuada de la manguera de escape de gases en sus dos extremos.

V.2.2.- Mantenimiento preventivo

Es el procedimiento que se realiza de forma programada y periódica, su principal objetivo es minimizar las posibilidades de riesgo y fallas de los equipos, asegura la operación continua de los mismos, aumenta la seguridad y eficiencia del equipo, disminuye riesgos y eventuales problemas, brinda mayor productividad y confiabilidad, logrando extender y mejorar la vida útil del equipo.

Entre los procedimientos que pueden estar incluidos en el proceso del mantenimiento preventivo está la limpieza, ajuste, calibración, lubricación, el reemplazo de piezas y partes. Este mantenimiento preventivo no excluye la inspección diaria del equipo, debe de tener por lo menos, programada una revisión completa cada seis meses.

El sistema de anestesia está formado de subsistemas, que en general se pueden clasificar en:

- Gabinete transportable
- Ventilación
- Vaporización
- Monitorización y registro

Los cuáles serán inspeccionados con métodos y herramientas en el mantenimiento preventivo, a continuación se mencionan algunas consideraciones que se tienen que tener en cuenta en el instrumental de medición específico, tal como multímetro, simuladores, analizadores, etc.

V.2.2.1.- Inspección física

Se realiza una inspección visual general para encontrar daños obvios, componentes dañados y el estado de las conexiones eléctricas y neumáticas. En la *sección VI de la Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia de CENETEC-Salud* se encuentra una serie de rutinas de mantenimiento, empezando por la inspección física, que a continuación se muestra.

1. *Chasis: Examinación del exterior del equipo, limpieza y las condiciones físicas generales.*
2. *Montajes y apoyos: Asegurar la estabilidad del equipo que se encuentre montado sobre una superficie o carro de transporte.*
3. *Frenos: Revisar obstrucciones producidas por acumulación de hilos o suciedades en las ruedas. Asegurar un movimiento suave. Correcto funcionamiento de los frenos.*
4. *Enchufe y base de enchufe: Examinar daños en el enchufe de red. Mover las clavijas para determinar si son seguras. Examinar el enchufe y su base para determinar que no falta ningún tornillo, que no está el plástico roto y que no hay indicios de peligro.*
5. *Cable de alimentación: Inspeccionar posibles daños y reemplazarlo por uno nuevo si es el caso.*
6. *Cinchos o amarres: Empleados para prevenir la desconexión del cable de alimentación contra tirones, su colocación permite que no pueda ser fácilmente movido.*
7. *Interruptores y fusibles: Si el equipo tiene un interruptor de corriente, revisarlo y ver que se mueve con facilidad. Si el equipo está protegido por un fusible externo, revisar su valor y modelo de acuerdo con la placa de características colocada sobre el chasis, y asegurarse que existe uno de repuesto.*

8. *Tubos y mangueras: Revisar las condiciones y conexiones. Examinar su buen estado y verificar que no hay fugas.*
9. *Tomas de gas: Examinar conectores de las tomas de gas para los gases respiratorios. Verificar que el rótulo indicador del nombre del gas es usado donde corresponde: respirador, manguera, toma de gas de la manguera, toma de gas de la pared.*
10. *Controles y teclas: Examinar condiciones físicas, como montaje seguro y movimientos correctos. Verificar que los mandos de control no han resbalado sobre sus ejes, revisar límites de fijado. En las teclas de membrana, revisar daños por uñas, marcas de bolígrafo, etc. Asegurarse que las teclas y mandos de control funcionen de acuerdo con su función.*
11. *Sensores y transductores: Comprobar la existencia de todos los sensores y transductores del sistema de anestesia y monitoreo. Verificar su funcionamiento.*
12. *Filtros: Revisar condiciones de los filtros de los gases respiratorios. Verificar que no existen indicadores de residuos corrosivos, líquidos, gases, o partículas sólidas contaminantes en la fuente de gas. Limpiar los filtros o reemplazarlos si fuera necesario.*
13. *Vaporizadores: Comprobar exactitud de la suministración de concentraciones requeridas de agente anestésicos.*
14. *Ventilador: Revisar condiciones físicas y el buen funcionamiento.*
15. *Monitor de signos vitales: Montaje del sistema de monitorización, puede ser preconfigurado o modular.*
16. *Baterías y su cargador: Inspeccionar condiciones físicas de las baterías y de los conectores. Verificar el funcionamiento del indicador de batería, así como la alarma de batería baja.*
17. *Indicadores y despliegues: Confirmar el funcionamiento de todas las luces, indicadores y pantallas de visualización de la unidad.*
18. *Etiquetas, tarjetas de instrucciones y tablas de conversiones: Inspeccionar la presencia y legibilidad de placas de características, etiquetas de advertencia, caracteres de conversión, tarjetas de instrucciones.*
19. *Accesorios: Se debe garantizar la existencia y buen estado de todos los accesorios necesarios para la aplicación, monitorización y uso del sistema de anestesia, los cuales deberán ser compatibles con la marca y modelo del equipo.*

V.2.2.2.- Medición, monitoreo y alarmas

Relacionado con la información anterior, esta prueba trata de la verificación de la similitud de los valores seleccionados con los valores reales, las funciones de monitoreo y alarmas. Las alarmas son evaluadas de acuerdo a la activación visual y audible de estas; el despliegue de mensajes correctos en la pantalla, función para silenciar, tiempo que tarda automáticamente en activarse de nuevo y la selección correcta de intensidad, forman parte del mantenimiento preventivo. Alrededor del 50% al 70% de los incidentes en los sistemas de anestesia están relacionados con:

- Error de ensamblaje
- Suspensión de alarmas
- Conexiones equivocadas
- Incorrecta selección de parámetros de uso
- Programación incorrecta
- Falla en el monitoreo

En la sección VI de la Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia de CENETEC-Salud se encuentra la rutina para la realización de la prueba de sistemas de medición, monitoreo y alarma, que a continuación se muestra.

1. *Presión máxima (valor seleccionado = valor real): Se realizan pruebas con diferentes valores seleccionados y el valor alcanzado ha de ser igual al seleccionado.*
2. *Liberación de la válvula de sobrepresión: Se selecciona el máximo valor de $P_{m\acute{a}x}$ y la presión en válvula de descarga $\ll P_{m\acute{a}x}$. Se verifica que el valor real alcance al valor seleccionado.*
3. *Alarmas de desconexión de paciente: Se desconecta la pieza en Y, y se verifica la activación de la alarma de Presión Baja y Apnea.*
4. *Concentración de oxígeno (valor seleccionado = valor real): Se verifica que el valor en pantalla sea igual al valor seleccionado.*
5. *Alarma de límite bajo de FiO_2 : La concentración de O_2 , se coloca en límites de concentración alta y concentración baja, se verifica la activación de las alarmas.*
6. *Concentración de agente anestésico (valor seleccionado = valor real): Se verifica que el valor en pantalla sea igual al valor seleccionado en el vaporizador.*
7. *Alarma de desconexión del suministro de oxígeno: Se realiza la desconexión del O_2 de la toma centralizada, toma de pared, y se verifica la activación de alarma de desconexión de O_2 .*
8. *Alarma de falla en el suministro de energía eléctrica: Se desconecta la toma de red de la pared (no el interruptor) y se verifica la activación de alarma.*

En el subcapítulo siguiente es posible ver que parámetros son medidos y monitoreados, además de las funciones de alarma. Los parámetros comúnmente monitorizados son inspeccionados por su exactitud, generalmente $\pm 10\%$ de tolerancia y siempre de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

V.2.2.3.- Seguridad eléctrica

Las pruebas de seguridad eléctrica se realizan para verificar que el equipo está correlacionado con las regulaciones y requerimientos de seguridad establecidos. Para dicha tarea se hace uso de herramientas o de un equipo para la comprobación del sistema de anestesia. Dichas mediciones deben ser capturadas y comparadas con registros anteriores, con el fin de detectar cambios y poner en marcha una acción para corregirlo. como finalidad disminuir acontecimientos peligrosos al paciente que es apoyado con equipo médico, para ello junto con la inspección física y cuantitativa, el sistema de anestesia tendrá que pasar una serie de pruebas que manifiesten su manejo seguro en el aspecto eléctrico, con el propósito de garantizar la conservación de la salud del paciente, el médico y del entorno. Por lo tanto y en general, el equipo médico es sometido a pruebas que permitan determinar si el aparato cumple con los valores máximos de voltaje, corriente y resistencia.

Tiene como objetivo controlar la presencia de pequeñas corrientes que puedan causar shocks eléctricos, por ejemplo, un micro shock es el resultado producido por una pequeña corriente que llega o pasa cerca del corazón, el cual, puede producir en el paciente una fibrilación ventricular, causando la muerte o daños cerebrales irreversibles si no es atendido rápidamente. Por su parte los macro shocks son el resultado del paso de corrientes relativamente grandes a través del cuerpo humano, por ejemplo, cuando se hace contacto con los cables de alimentación del equipo, puede producir quemaduras eléctricas, espasmos musculares, parálisis, problemas respiratorios, fibrilación ventricular, etc. Por consiguiente, se han fijado límites de corriente eléctrica a medida de los valores admitidos por el cuerpo humano, con el fin establecer rangos admisibles y seguros.

V.2.2.4.- Documentación de las pruebas realizadas

El registro de las pruebas en el equipo representan un historial y una base de información para conocer el estado actual y pasado del sistema de anestesia, también figura como una constancia

de las tareas realizadas en él, en general dicho documento deberá ser del conocimiento del personal de bioingeniería, quirófano y anestesiología. En la *sección VI de la Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia de CENETEC-Salud* se encuentra el listado de pruebas que deben documentarse en el historial de servicio, que a continuación se muestra.

1. *Seguridad eléctrica.* Se refiere a la serie de pruebas que determinan si el equipo médico cumple con los valores máximos de voltaje, corriente y resistencia, con el propósito de garantizar la conservación de la salud del paciente, el médico y del entorno.
 - I.- *Tensión de red*
 - II.- *Potencia*
 - III.- *Corriente de fuga a tierra*
 - III.1.- *Condición de primera falla (Línea de alimentación abierta)*
 - IV.- *Corriente de fuga al chasis*
 - IV.1.- *Condición de primera falla (Línea de alimentación abierta)*
 - IV.2.- *Condición de segunda falla (Línea de tierra abierta)*
 - V.- *Resistencia de aislamiento entre los conductores de línea abierta*
 - VI.- *Resistencia de tierra*

2. *Funcionamiento en cada uno de los modos de ventilación disponible.* La función de ventilación deberá ser controlada en cada uno de los modos de ventilación y se verificarán sus funcionamientos, de los cuales se comprobarán sus controles de programación.

3. *Controles de programación del ventilador.* Entre los parámetros más comunes e importantes a programar de los modos ventilatorios, se muestran en la siguiente lista.
 - *Volumen corriente*
 - *Frecuencia respiratoria*
 - *Tiempo de inspiración*
 - *Tiempo de espiración*
 - *I: E*
 - *Forma de onda de flujo y de presión*

Se consideran dentro de la tolerancia, valores con $\pm 10\%$. Se hará conectando un pulmón de simulación y un circuito de paciente, para el paso 2 y 3.

4. *Monitoreo y alarmas.* En la siguiente lista se señalan los parámetros más comunes a monitorizar, igual que los controles de programación antes mencionados, se tiene un $\pm 10\%$ de tolerancia con de exactitud respecto al resultado final con relación al valor real, de acuerdo a lo indicado por el fabricante
 - *Frecuencia respiratoria*
 - *Tiempo de inspiración*
 - *Presión Inspiratoria Pico*
 - *Flujo inspiratorio medio y máximo*
 - *PEEP*
 - *Valor medio de la presión en vías aéreas (Pva)*
 - *Volumen corriente y Volumen minuto*
 - *Fracción inspirada de oxígeno (FiO₂)*
 - *Temperatura del aire inspirado*

A su vez se deberá verificar el funcionamiento de las alarmas correspondientes a esos valores, la forma de hacerlo es por medio de simuladores, con el cual se podrán observar las respuestas del equipo médico, primero en condiciones normales y después con valores altos y bajos.

5. *Suministro de gas.* Se verificará el buen estado de los componentes, con el fin de detectar posibles fallas.
 - *Mezclador de aire y oxígeno (blender)*
 - *Compresor*
 - *Sistemas Neumáticos (incluyendo filtros de aire)*
 - *Reguladores*

6. *Circuito de Paciente.* Se comprobarán que los circuitos de respiración o tubuladuras:
 - Adecuado para el ventilador
 - Verificar la existencia de fugas en el circuito respiratorio,
 - Constatar el correcto ensamble y funcionamiento de los accesorios, adaptadores, y otros componentes como: válvulas de exhalación, válvulas de PEEP, trampas de agua, nebulizador.
 - Humidificador, si el respirador dispone de uno, comprobar que éste funciona.
 - Revisar el correcto funcionamiento del mecanismo de liberación de presión ocluyendo el circuito de respiración y midiendo el valor de pico de presión. Verificar que la presión es evacuada del circuito de respiración.

Para comprobar el buen funcionamiento del equipo, este deberá ser sometido a condiciones de trabajo, con el fin de constar sus respuestas a las pruebas realizadas. El mantenimiento preventivo de los equipos de anestesia varía en método y periodos, según los procedimientos recomendados por el fabricante, ya que los modos de ventilación, controles, estructura, etc., varían entre modelos y marcas. Por lo tanto, es importante incorporar dicha recomendación e instrucciones propias de cada equipo al protocolo de mantenimiento preventivo del departamento a cargo.

V.2.2.5.- Documentación del servicio

Se refiere a la información y documentación que manifiesta y avala la ejecución del servicio prestado al sistema de anestesia, es donde se indica para cada equipo:

- Marca, modelo, número de serie, número de inventario, ubicación, etc.
- Información de la empresa y/o del prestador del servicio
- Periodicidad en que se realiza el servicio
- Tipo de mantenimiento
- Fecha en que se realizó el servicio
- Descripción del proceso realizado al equipo
- Estado en que se entrega el equipo
- Refacciones o accesorios cambiados o entregados
- Observaciones y recomendaciones realizadas por el prestador del servicio
- Firmas del: prestador del servicio, operador y del responsable del equipo.

Dependiendo de la institución médica y del prestador de servicio, el listado anterior puede cambiar, en donde puede omitir algún punto mencionado o agregar más a estos.

V.2.2.6.- Simulación de un paciente

El uso de equipo simulador hace posible la comprobación del equipo médico. A continuación se muestra una lista de algunos simuladores de paciente.

- Pulmón de simulación, ayudará a verificar condiciones de ventilación dentro y fuera de los valores normales.
- El simulador de ECG, entregará señales en diferentes rangos, para comparar los valores elegidos con los valores reales mostrados en la pantalla, además de selecciones de ritmo normal, bradicardia y taquicardia con un amplio rango de pulsos, esto permite también la verificación de alarmas.
- El analizador de SpO₂, es un comprobador y verifica el funcionamiento básico de dispositivos utilizados para monitorizar la SpO₂, algunos permiten realizar combinaciones de saturación, además de tener las funciones como frecuencia cardíaca, perfusión, transmisión, ruido de artefactos y curvas.
- Simulador PANI, permite una fiable y adecuada forma de evaluar el funcionamiento de las señales de la PANI oscilométricas, simula un rango completo de formas de onda normal, hipertenso e hipotenso representando pacientes típicos: adulto, infantil y neonatal.
- Simulador PAI, permite una fiable y adecuada forma de evaluar el funcionamiento de las señales de la PAI, simula un rango completo de formas de onda normal, hipertenso e hipotenso representando pacientes: adulto, pediátrico y neonatal.
- Simulador de temperatura del paciente, ayudará a verificar condiciones de temperatura dentro y fuera de los valores normales.
- Simulador respiratorio del paciente, es un comprobador y verifica el funcionamiento básico del sistema respiratorio del paciente.

V.2.2.7.- Herramientas e insumos

El personal encargado del mantenimiento preventivo necesita insumos de limpieza para equipos electrónicos, eléctricos y mecánicos; además de conectores, tornillos, lubricantes, etc. Es importante hacer caso de las recomendaciones del fabricante e instrucciones del manual.

Además de los insumos y refacciones, se hace uso de equipo que junto con los simuladores, anteriormente mencionados, ayudan a garantizar el correcto y seguro uso del sistema de anestesia. Entre ellos se encuentran:

- Multímetro
- Equipo de revisión de Seguridad Eléctrica.

V.2.3.- Mantenimiento correctivo

Es el proceso en el cual se pretende reparar o restaurar el estado y funcionamiento correcto y seguro del equipo. No se planifica, se lleva a cabo cuando es necesario y el equipo presenta fallas. La solicitud del mantenimiento correctivo, es exclusivamente requerido por el hospital. El servicio es prestado por personal calificado y especializado, el cual deberá atender al equipo en cuestión, lo más pronto posible.

CONCLUSIONES

A pesar de la existencia de diferentes equipos de anestesia y monitores de signos vitales en el mercado, cuya estructura varía entre modelos y fabricantes, todos comparten características similares, ya que están destinadas a realizar la misma tarea para diferentes áreas.

Se debe entender el importante papel que juegan los equipos médicos en el área de la salud, ya que estos sistemas de soporte de vida y monitorización pueden representar la diferencia entre el bienestar o el deterioro parcial o total de la salud del paciente.

Este trabajo trata de resolver las preguntas relacionadas con el sistema de anestesia como: ¿Qué es? ¿Para qué es? ¿Cómo lo hace? ¿Dónde se usa? ¿Cuál es la mejor alternativa?, cuestiones primarias y esenciales, que brindan el fundamento y la introducción a dicho sistema y que da paso a más preguntas específicas y fundamentadas.

Se presenta al sistema de anestesia empleado en México, y se pretende exponer el entorno en el cual opera dicho equipo, cuya información es de relevancia en la práctica y resulta de gran utilidad, ya que debe considerarse que el trabajo del ingeniero no empieza ni termina con el manejo eléctrico, electrónico, mecánico o computacional de un equipo, sino que abarca más áreas relacionados con normativas, registros, organizaciones, administración, etc., además de estar directamente relacionados con la fisiología humana.

Si es verdad que es en la práctica cuando el ingeniero se enfrenta con verdaderos problemas a los cuales deberá plantar e implementar una solución, también es cierto que se debe poseer una base de conocimientos de función y funcionamiento del equipo, los cuales indican el problema que pueda tener y que le ayuden a brindar un diagnóstico y la asistencia requerida. Por lo tanto, con ese propósito tiene origen este trabajo que ha sido realizado para todo aquel que necesite introducirse en el ámbito relacionado con el sistema de anestesia.

TABLA DE IMÁGENES

CÁPITULO III.- FISIOLÓGÍA INVOLUCRADA EN ANESTESIA

[a] Imagen tomada del libro:

TORTORA, Gerard, DERRICKSON, Bryan. *Principios de Anatomía y Fisiología*. 11° Edición. Panamericana. 2007.

[b] Imagen tomada de la página web:

Las Neuronas. (s.f.). Recuperado el 15 de Enero 2014, de <https://www.wikisaber.es/comunidadwiki/blogs/blogpost.aspx?id=7945&blogid=17807>

[c] Imagen tomada de la página web:

Pares craneales. (s.f.). Recuperado el 18 de Enero 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Pares_craneales

[d] Imagen tomada del libro:

GUYTON, Arthur, HALL, John. *Tratado de Fisiología médica*. 11° Edición. Elsevier. 2006.

CÁPITULO IV.- MÁQUINA DE ANESTESIA Y MONITOR DE SIGNOS VITALES

[e] Imagen tomada del documento en línea:

SEGURA, Guadalupe, SPALLANZANI Emilia. *Mesa de anestesia*. España. Universidad Nacional De Córdoba. 2009. Recuperado el 11 de Diciembre 2013, de <http://es.scribd.com/doc/61304768/Mesa-de-Anestesia-Segura-Atencio-Spallanzani>

[f] Imagen tomada de la revista en línea:

LLORENS, Julio. *Ventiladores de anestesia*. (Abril del 2000). Revista Española de Anestesiología y Reanimación. Recuperado el 15 de Enero 2014, de <https://www.sedar.es/vieja/restringido/2000/agosto/5.pdf>

[g] Imagen tomada del manual:

Avance ® Manual de referencia de usuario. Datex-Ohmeda, Inc., una empresa de General Electric, comercializada como GE Healthcare

[h] Imagen tomada de la página web:

Capítulo 6 Modos de soporte ventilatorio. (s.f.). Fundamentos de la ventilación mecánica. Recuperado el 13 de Enero 2014, de <http://www.fundamentosventilacionmecanica.com/C6.html#P211>

[i] Imagen tomada del libro:

BELDA, Javier, LLORENS, Julio. *Ventilación mecánica en anestesia y cuidados críticos*. Arán. 2009.

[j] Imagen tomada del libro:

ALDRETE, Antonio, GUEVARA, Uriah, CAPMOURTERES, Emilio. *Texto de anestesiología teórico-práctica*. 2° Edición. El manual moderno. 2004.

[k] Imagen tomada del documento en línea:

BALCELLS, J. *Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo*. España. Hospital Vall d'Hebron. 2003. Recuperado el 22 de Enero 2014, de <http://www.respira.com.mx/docs/f1342718267-0.pdf>

[l] Imagen tomada del documento en línea:

Vaporizadores. Cataluña. Sociedad Catalana de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor. 2001. Recuperado el 6 de Febrero 2014, de <http://www.scartd.org/arxiu/vaptxyfig.PDF>

[m] Imagen tomada del libro:

DUKE, James. *Anestesia Secretos*. 4° Edición. Elsevier. 2011.

[n] Imagen tomada de la página web:

RABANAL, J. *Monitorización de la Pulsioximetría (SPO₂)*. (s.f.). Recuperado el 7 de Diciembre 2013, de <http://www.anestesiavirtual.com/menupulsio.htm>

[o] Imagen tomada del documento en línea:

BUISÁN, Félix, RUIZ, Nuria. *Índice biespectral (BIS) para monitorización de la consciencia en anestesia y cuidados críticos: guía de práctica clínica*. Valladolid. Grupo de Trabajo de la Sociedad Castellano-Leonesa de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor (SOCLARTD). 2008. Recuperado el 2 de Noviembre 2013, de http://www.soclartd.org.es/files/publicaciones/BIS_guia_clinica0.pdf

[p] Imagen tomada de la página web:

Derivaciones Cardíacas del Electrocardiograma. (s.f.). Recuperado el 28 de Diciembre 2013, de <http://www.my-ekg.com/generalidades-ekg/derivaciones-cardiacas.html>

[q] Imagen tomada de la página web:

Derivaciones electrocardiográficas. (s.f.). Recuperado el 28 de Diciembre 2013, de <http://www.electrocardiografia.es/derivaciones.html>

[r] Imagen tomada de la página web:

El Electrocardiograma. (s.f.). Recuperado el 29 de Diciembre 2013, de <http://apuntesauxiliarenfermeria.blogspot.mx/2011/02/el-electrocardiograma.html>

[s] Imagen tomada de la página web:

Electrocardiograma. (s.f.). Recuperado el 29 de Diciembre 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrocardiograma>

[t] Imagen tomada del libro:

DE BORJA, Francisco, CHAMORRO, PLANAS, LÓPEZ. *Monitorización en anestesia, cuidados críticos y medicina de urgencias*. Elsevier. 2004.

[u] Imagen tomada del documento en línea:

GÓMEZ, Walter, *Sistema Cardiovascular MEDICION DE PRESION INVASIVA*. UNC Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado el 17 de Febrero 2014, de http://www.efn.uncor.edu/escuelas/biomedica/Plandeestudios/materias%20completas/Instrumentacion%20biomedica/Material/agosto%202010/PRESION_INVASIVA_rev_ago_09.ppt

[w] Imagen tomada de la revista en línea:

TECNOLOGÍA ¿Cómo se mide la transmisión neuromuscular? (2000). Revista Virtual Aula-Bioingeniería. Recuperado el 19 de Febrero 2014, de <http://190.156.226.185/sam/docs/varios/Protocolos%20Mtto/Aula-Bioingenieria/Aula-Bioingenieria1.pdf>

[x] Imagen tomada del documento en línea:

CORDERO, Idoris. *Capítulo 4 Controversias entre Relajantes Musculares*. Cuba. infoMED Red de Salud de Cuba. Recuperado el 18 de Febrero 2014, de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/anestesiologia/controversias_entre_rel_musc.pdf

[y] Imagen tomada de la página web:

Espirometría intraoperatoria: principios del funcionamiento del tubo de Pitot. (24 abril 2011). Recuperado el 2 de Enero 2014, de <http://www.anestesiaenlinea.com/2011/04/espirometria-intraoperatoria-principios-del-funcionamiento-del-tubo-de-pitot/>

[z] Imagen tomada de la revista en línea:

GARCÍA, Mario, VASILIEVNA, Daria. *Mejoras del método oscilométrico de medición de la presión no invasiva en el monitor de paciente DOCTUS VI*. RIELAC Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones. Recuperado el 19 de Febrero 2014, de http://rielac.cujae.edu.cu/index.php/riec/article/view/9/pdf_49

BIBLIOGRAFÍA

CAPITULO I.- INGENIERÍA BIOMÉDICA EN HOSPITALES

- [1] CÉDULAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. CENETEC-Salud. *Unidad de anestesia básica*. (2013). Recuperado el 6 de Enero 2043, de <http://www.cenetec.salud.gob.mx/interior/cet.html>
- [2] CÉDULAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. CENETEC-Salud. *Unidad de anestesia intermedia*. (2013). Recuperado el 6 de Enero 2043, de <http://www.cenetec.salud.gob.mx/interior/cet.html>
- [3] CÉDULAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. CENETEC-Salud. *Unidad de anestesia alta especialidad*. (2013). Recuperado el 6 de Enero 2043, de <http://www.cenetec.salud.gob.mx/interior/cet.html>
- [4] CENETEC-Salud (s.f.). Recuperado el 13 de Noviembre 2013, de <http://www.cenetec.salud.gob.mx/>
- [5] VELÁZQUEZ, Adriana. *Presentación de Guía Tecnológica No. 10: Sistema de Anestesia*. Dirección de Integración de Guías de Práctica Clínica CENETEC, SALUD. 2004. Recuperado el 7 de octubre de 2013 de http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipo_guias/guias_tec/10gt_anestesia.pdf
- [6] *Hospitales* (s.f.). Recuperado el 14 de Noviembre 2013, de <http://portalmedicopuebla.com/index.php/features/h/hospitales>
- [7] COFEPRIS. (s.f.). Recuperado el 15 de Noviembre 2013, de <http://www.cofepris.gob.mx>
- [8] *Requisitos y lineamientos para la obtención del Registro Sanitario*. COFEPRIS. Recuperado el 16 de Noviembre 2013, de http://www.cofepris.gob.mx/AS/Documents/RegistroSanitarioMedicamentos/req_dm.pdf
- [9] *Criterios para la clasificación con base al nivel de riesgo sanitario*. COFEPRIS. Recuperado el 16 de Noviembre 2013, de http://www.cofepris.gob.mx/AS/Documents/RegistroSanitarioMedicamentos/crit_riesgosan_DM.pdf
- [10] *Criterios de agrupación por familias de Dispositivos Médicos*. COFEPRIS. Recuperado el 16 de Noviembre 2013, de http://www.cofepris.gob.mx/AS/Documents/RegistroSanitarioMedicamentos/crit_familias_DM.pdf
- [11] NORMA Oficial Mexicana NOM-006-SSA3-2011, Para la práctica de la anestesiología. Secretaria de Gobernación SEGOB. Recuperado el 23 de Octubre 2013, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5240668&fecha=23/03/2012
- [12] NORMA Oficial Mexicana NOM-137-SSA1-2008, Etiquetado de dispositivos médicos. Secretaria de Gobernación SEGOB. Recuperado el 23 de Octubre 2013, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5074071&fecha=12/12/2008
- [13] NORMA Oficial Mexicana NOM-016-SSA3-2012, Que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada. Secretaria de Gobernación SEGOB. Recuperado el 24 de Octubre 2013, de http://diariooficial.segob.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5284306&fecha=08/01/2013
- [14] NORMA Oficial Mexicana NOM-240-SSA1-2012, Instalación y operación de la tecnovigilancia. Secretaria de Gobernación SEGOB. Recuperado el 4 de Noviembre 2013, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5275834&fecha=30/10/2012
- [15] CAMINAL, Pere, et al. *Introducción a la bioingeniería*. Marcombo.
- [16] ARIZA, Alexander. *Libro Texto Introducción a la Ingeniería Biomédica*. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2009.

CAPITULO II.- ANESTESIA

- [17] MARTÍNEZ, Salvador. *Cirugía, bases del conocimiento quirúrgico*. 2° Edición. McGraw-Hill interamericana. 1997.
- [18] LUNA, Pastor, HURTADO, ROMERO. *El ABC de la anestesiología*. Alfil. 2011
- [19] CARVAJAL, FABIÁN, et al. *TEMAS SELECTOS EN ANESTESIA Para la práctica de la medicina general*. 1° Edición. 2006.
- [20] DÁVILA, Evangelina, et al. *Anestesiología Clínica*. Ciencias Médicas. 2006.

CAPITULO III.- FISIOLÓGÍA INVOLUCRADA EN ANESTESIA

- [16]
- [21] TORTORA, Gerard, DERRICKSON, Bryan. *Principios de Anatomía y Fisiología*. 11° Edición. Panamericana. 2007.
- [22] GUYTON, Arthur, HALL, John. *Tratado de Fisiología médica*. 11° Edición. ElSevier. 2006.
- [23] GANONG, William. *Fisiología médica*. 18° Edición. Manual Moderno.
- [24] SNELL, Richard. *Neuroanatomía Clínica*. 5° Edición. Panamericana. 2001.
- [25] MUÑOZ, Sigifredo. *Fisiología y Anestesia*. Universidad del Valle. 2008.

CAPITULO IV.- MAQUINA DE ANESTESIA Y MONITOR DE SIGNOS VITALES

- [26] *Auxiliares de Anestesia*. (s.f.). Recuperado el 10 de Diciembre 2013, de http://www.anestesiologia.cl/temas/temas_ver.php?id=10
- [27] *Fundamentos de la ventilación mecánica*. (s.f.). Recuperado el 13 de Enero 2014, de <http://www.fundamentosventilacionmecanica.com/C6.html#P211>
- [28] *Depresión Miocárdica* (s.f.). Recuperado el 5 de Enero 2014, de http://www.diagnosticomedico.es/enfermedades/depresion_miocardica-53754
- [29] *GUIAS DE MANEJO CLINICO ANESTESIOLOGÍA*. (2007). Hospital La Victoria. Recuperado el 8 de Septiembre 2011, de <http://www.esevictoria.gov.co/>
- [30] BELDA, Javier, LLORÉNS, Julio. *Ventilación mecánica en anestesia y cuidados críticos*. Arán. 2009.
- [31] AYUSO Fernando. *Fundamentos básicos de anestesia y reanimación en medicina de urgencias, emergencias y catastrofes*, Volume 1. Arán. 2005.
- [32] *Síndrome de Insuficiencia Respiratoria Pulmonar Aguda*. (2004). Revista Cubana de Medicina Intensiva y Emergencias. Recuperado el 8 de Septiembre 2013, de http://bvs.sld.cu/revistas/mie/vol3_3_04/mie03304.pdf
- [33] IMBERGER, Georgina, et al. *Presión positiva al final de la espiración (PEEP) durante la anestesia para la prevención de la mortalidad y las complicaciones pulmonares posoperatorias*. (8 de diciembre de 2010). Resúmenes Cochrane. Recuperado el 20 de diciembre 2013, de <http://summaries.cochrane.org/es/CD007922/presion-positiva-al-final-de-la-expiracion-peep-durante-la-anestesia-para-la-prevencion-de-la-mortalidad-y-las-complicaciones-pulmonares-posoperatorias>
- [34] ARELLANO, Daniel. *Análisis gráfico de la ventilación mecánica*. (2007). Blog para la difusión y el aprendizaje más allá del Curso Ventilación Mecánica Universidad de Chile. Recuperado el 22 de Enero 2014, de <http://vmuchile.files.wordpress.com/2012/10/grafica-arellano.pdf>
- [35] *Capítulo 7 Inicio de la ventilación mecánica*. (s.f.). Fundamentos de la ventilación mecánica. Recuperado el 25 de Enero 2014, de <http://www.fundamentosventilacionmecanica.com/C7.html>
- [36] *Capítulo 8 Tratamiento del paciente ventilado mecánicamente*. (s.f.). Fundamentos de la ventilación mecánica. Recuperado el 25 de Enero 2014, de <http://www.fundamentosventilacionmecanica.com/C8.html>
- [37] GOZALO, María Elena. *Capítulo 82: Ventilación mecánica básica*. (s.f.). Versión Web Tratado de Enfermería en Cuidados Críticos Pediátricos y Neonatales (ECCPN). Recuperado el 20 de Enero 2014, de <http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion5/capitulo82/capitulo82.htm>
- [38] *Parámetros ventilatorios*. (s.f.). Ventilación Mecánica Guía para Enfermería. Recuperado el 25 de Enero 2014, de <http://www.enfermeriaespira.es/about/parametros-ventilatorios>
- [39] GUTIERREZ, Fernando. Ventilación mecánica. (2011). SciELO Perú Biblioteca virtual. Recuperado el 19 de Enero 2014, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=s1728-59172011000200006&script=sci_arttext
- [40] *Capítulo 10 Monitorización durante la ventilación mecánica*. (s.f.). Fundamentos de la ventilación mecánica. Recuperado el 25 de Enero 2014, de <http://www.fundamentosventilacionmecanica.com/C10.html>
- [41] UNZUETA, María. *Ventilación mecánica en anestesia*. Sociedad Catalana de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor. Recuperado el 25 de Enero 2014, de <http://www.scardt.org/arxiu/vmec06.pdf>
- [42] GIRALDO, Juan, et al. *Principios básicos de anestesiología*. 1° Edición. Universidad del Rosario. 2004.
- [43] BALCELLS, J. *Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo*. España. Hospital Vall d'Hebron. 2003. Recuperado el 22 de Enero 2014, de <http://www.respira.com.mx/docs/f1342718267-0.pdf>
- [44] *Monitoreo gráfico en ventilación mecánica*. Cuba. infoMED Red de Salud de Cuba. Recuperado el 22 de Enero 2014, de <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/urgencia/h.pdf>
- [45] TORRES, Luis, et al. *Tratado de anestesia y reanimación I*. Arán. 2001.
- [46] *Sistemas de Evacuación de Gases*. COMERCIAL MEDICA INDUSTRIAL. Recuperado el 1 de Febrero 2014, de www.cmi.com.vn
- [47] SEGURA, Guadalupe, SPALLANZANI Emilia. *Mesa de anestesia*. España. Universidad Nacional De Córdoba. 2009. Recuperado el 11 de Diciembre 2013, de <http://es.scribd.com/doc/61304768/Mesa-de-Anestesia-Segura-Atencio-Spallanzani>
- [48] *Guía Tecnológica No 37: Capnógrafo*. (2007). CENETEC-Salud. Recuperado el 27 de Octubre 2013, de http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipo_guias/guias_tec/37gt_Capnografia.pdf
- [49] *MANUAL DEL OPERADOR Capnógrafo portátil de mesa /oxímetro de pulso*. Recuperado el 8 de Febrero 2014, de <http://www.jorge-guerrero.com/misapuntes/sanidad/samur/FuncionamientocapnografoMicrocapPlus.pdf>
- [50] RABANAL, J. *Monitorización de la Pulsioximetría (SPO₂)*. (s.f.). Recuperado el 7 de Diciembre 2013, de <http://www.anestesiavirtual.com/menupulsio.htm>
- [51] NUNES, Rogean, et al. (2012). *Índice bispectral y otros parámetros procesados del electroencefalograma: una actualización*. Revista Brasileira de Anestesiología. Recuperado el 19 de Enero 2014, de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-70942012000100014&script=sci_arttext&lng=es#fig1a
- [52] BUISÁN, Félix, RUIZ, Nuria. *Índice bispectral (BIS) para monitorización de la consciencia en anestesia y cuidados críticos: guía de práctica clínica*. Valladolid. Grupo de Trabajo de la Sociedad Castellano-Leonesa de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor (SOCLARTD). 2008. Recuperado el 2 de Noviembre 2013, de http://www.soclartd.org.es/files/publicaciones/BIS_guia_clinica0.pdf

- [53] *Derivaciones electrocardiográficas.* (s.f.). Recuperado el 28 de Diciembre 2013, de <http://www.electrocardiografia.es/derivaciones.html>
- [54] STOELTING, Robert, DIERDORF, Stephen. *Anestesia y Enfermedad Coexistente.* 4° Edición. ElSevier.
- [21]
- [22]
- [55] DE BORJA, Francisco, CHAMORRO, PLANAS, LÓPEZ.. *Monitorización en anestesia, cuidados críticos y medicina de urgencias.* ElSevier. 2004.
- [56] ALDRETE, Antonio, GUEVARA, Uriah, CAPMOURTERES, Emilio. *Texto de anestesiología teórico-práctica.* 2° Edición. El manual moderno. 2004.
- [19]
- [16]
- [18]
- [57] CARDONA, Elkin, PACHECO, GIRALDO. *Anestesiología para médicos generales.* 1° Edición. Universidad de Antioquia. 2003.
- [20]
- [58] DUKE, James. *Anestesia Secretos.* 4° Edición. ElSevier. 2011.
- [59] *Espirometría intraoperatoria: principios del funcionamiento del tubo de Pitot.* (24 abril 2011). Anestesia en línea. Recuperado el 2 de Enero 2014, de <http://www.anestesiaenlinea.com/2011/04/espirometría-intraoperatoria-principios-del-funcionamiento-del-tubo-de-pitot/>
- [60] *Unidad de cuidados Avance Carestation®. Especificaciones Técnicas.* Recuperado el 8 de Septiembre 2013, de http://www3.gehealthcare.es/es-ES/Productos/Categorias/Anesthesia_Delivery
- [61] GARCÍA, Mario, VASILIEVNA, Daria. *Mejoras del método oscilométrico de medición de la presión no invasiva en el monitor de paciente DOCTUS VI.* RIELAC Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones. Recuperado el 19 de Febrero 2014, de http://rielac.cujae.edu.cu/index.php/riecac/article/view/9/pdf_49
- [62] FABREGAT, Joaquín, CANDIA, CASTILLO. *La monitorización neuromuscular y su importancia en el uso de los bloqueantes neuromusculares.* (2012). SciELO Revista Colombiana de Anestesiología. Recuperado el 21 de Enero 2014, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-33472012000400010&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- [63] CORDERO, Idoris. *Capítulo 4 Controversias entre Relajantes Musculares.* Cuba. infoMED Red de Salud de Cuba. Recuperado el 18 de Febrero 2014, de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/anestesiologia/controversias_entre_rel_musc.pdf
- [64] *Avance Manual de referencia de usuario.* Datex-Ohmeda, Inc., una empresa de General Electric, comercializada como GE Healthcare
- [65] BUGEDO, Guillermo, BRUHN, Alejandro. *PROTOCOLO DE VENTILACION MECANICA.* Departamento de Medicina Intensiva. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado el 25 de Enero 2014, de escuela.med.puc.cl/deptos/intensivo/protocolos/protocolo%20VM.doc

CAPITULO V.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- [5]
- [66] BAREA, Rafael. *Tema 2 SEGURIDAD ELÉCTRICA.* Instrumentación Biomédica. Departamento Electrónica. Universidad Alcalá. Recuperado el 24 de Febrero 2014, de <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%20%20-%20seguridad%20elctrica.pdf>
- [16]
- [66] *La gerencia del riesgo en el mantenimiento de Equipos Médicos.* (s.f.). Universidad de Antioquia. Recuperado el 23 de Febrero 2014, de <http://www.slideshare.net/Albamarina7/el-riesgo-en-el-mantenimiento-biomedico>
- [42]
- [56]
- [66] *PROCEDIMIENTO DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO EQUIPOS DE ANESTESIA.* (s.f.). Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa Zaragoza. Recuperado el 21 de Febrero 2014, de <http://190.156.226.185/sam/docs/varios/protocolosinternet/bombap.pdf>
- [64]
- [66] *Simuladores del paciente rápidos.* (s.f.). FLUKE Biomedical. Recuperado el 25 de Febrero 2014, de <http://es.flukebiomedical.com/Biomedical/usen/Products/Patient-Simulators-Fast.htm>
- [66] LLAMOSAS, Luis, MEZA, PARRA. *FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE LA PRUEBA DE SEGURIDAD ELECTRICA PARA EQUIPO BIOMEDICO CON BASE EN LA NORMA NTC-ISO-IEC-60601-1.* (30 Mayo de 2006). Revista Scientia et Technica de la Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado el 24 de Febrero 2014, de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/6577/3723>

