



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Mantenimiento de un equipo de anestesia en la sala de operaciones de un hospital regional de la costa

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Andre Sebastian ZAVALETA NARVAEZ

ASESOR

Dra. Amanda Georgina CÁCERES MARI

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Zavaleta, A. (2026). *Mantenimiento de un equipo de anestesia en la sala de operaciones de un hospital regional de la costa*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Andre Sebastian Zavaleta Narvaez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71160969
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Amanda Georgina Cáceres Mari
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06284576
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-7663-6787
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Teresa Esther Núñez Zúñiga
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08006778
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jean Carlos Malca Fernández
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	45535181
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Celso Ysidro Gerónimo Huamán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191500

Datos de investigación	
Línea de investigación	
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Hospital Almanzor Aguinaga País: Perú Departamento: Lambayeque Provincia: Chiclayo Distrito: La Victoria Centro poblado: Chiclayo (zona urbana) Latitud: -6.7719 Longitud: -79.8409
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2025 – diciembre 2025
URL de disciplinas OCDE	Anestesiología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.02.09 Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Ingeniería médica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.06.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



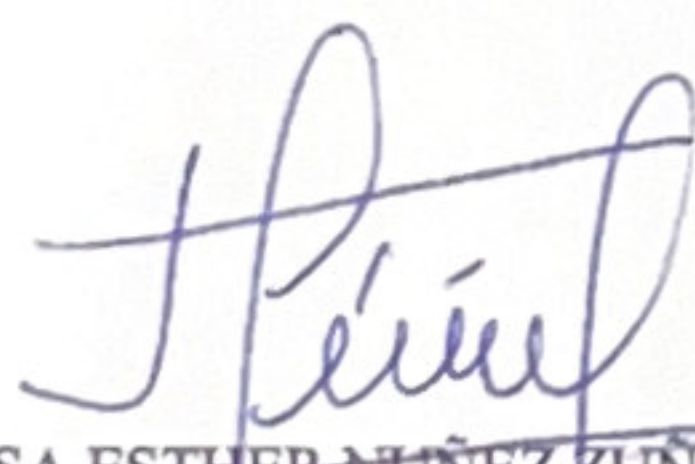
**ACTA DE SUSTENTACIÓN
TRABAJO DE
SUFICIENCIA PROFESIONAL
ACTA N°16/FIEE-PPP/2026**

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 19 de marzo del 2026, como presidente de Jurado la **DRA. TERESA ESTHER NUÑEZ ZUÑIGA**, integrado por el Miembro de Jurado el **DR. CELSO YSIDRO GERONIMO HUAMAN**, el Miembro de Jurado el **MG. JEAN CARLOS MALCA FERNANDEZ** y Miembro Asesor la **DRA. AMANDA GEORGINA CÁCERES MARI**.

Después de escuchar la Sustentación Presencial del Trabajo de Suficiencia Profesional del Bachiller **ANDRE SEBASTIAN ZAVALETA NARVAEZ** con código 10190108 que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **MANTENIMIENTO DE UN EQUIPO DE ANESTESIA EN LA SALA DE OPERACIONES DE UN HOSPITAL REGIONAL DE LA COSTA**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de 17 (Diecisiete).

Ciudad Universitaria, 19 de marzo del 2026


DRA. TERESA ESTHER NUÑEZ ZUÑIGA
Presidente Jurado


DR. CELSO YSIDRO GERONIMO HUAMAN
Miembro Jurado


MG. JEAN CARLOS MALCA FERNANDEZ
Miembro Jurado


DRA. AMANDA GEORGINA CÁCERES MARI
Miembro Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo , **AMANDA GEORGINA CÁCERES MARI** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°19/FIEE-PPP/2026 del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **MANTENIMIENTO DE UN EQUIPO DE ANESTESIA EN LA SALA DE OPERACIONES DE UN HOSPITAL REGIONAL DE LA COSTA**, presentado por el bachiller ANDRE SEBASTIAN ZVALETA NARVAEZ, para optar al título profesional de Ingeniero Electrónico. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 7% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

Lima, 19 de Marzo del 2026

Firma del Asesor

DNI: 06284576

Nombres y apellidos del asesor:

AMANDA GEORGINA CÁCERES MARI

DEDICATORIA

A mis padres, por ser la base de mi vida
y educación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María, por darme unos padres maravillosos.

A mis maestros, que desde la primaria complementaron las enseñanzas recibidas en casa

RESUMEN

En los establecimientos de salud, el mantenimiento de los equipos de anestesia presenta limitaciones en la implementación del mantenimiento programado, lo que puede afectar la continuidad operativa de los servicios quirúrgicos y la seguridad del paciente. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo realizar el mantenimiento técnico de los equipos de anestesia en la sala de operaciones de un hospital regional de la costa. El mantenimiento de estos equipos constituye un componente esencial de la gestión hospitalaria, ya que garantiza el suministro seguro y controlado de gases anestésicos, oxígeno y ventilación asistida durante los procedimientos quirúrgicos. Las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo permitieron optimizar el desempeño funcional de los equipos, identificar fallas recurrentes y reducir los tiempos de inactividad operativa. Asimismo, se evidenció la importancia de la ejecución de pruebas de seguridad eléctrica y funcional, así como de la correcta documentación técnica de cada intervención realizada. Finalmente, la aplicación de procedimientos técnicos estandarizados, basados en las recomendaciones del fabricante y en normas internacionales, contribuyó a mejorar la confiabilidad de los equipos de anestesia y a fortalecer la gestión del mantenimiento biomédico, garantizando la seguridad del paciente y la calidad del servicio hospitalario.

Palabras clave: mantenimiento biomédico, equipo de anestesia, seguridad del paciente, Norma técnica Internacional.

ABSTRACT

In healthcare facilities, the maintenance of anesthesia equipment presents limitations in the implementation of scheduled maintenance, which may affect the operational continuity of surgical services and patient safety. In this context, the objective of this work was to perform technical maintenance on anesthesia equipment in the operating room of a regional hospital located on the coast. The maintenance of this equipment constitutes an essential component of hospital management, as it ensures the safe and controlled delivery of anesthetic gases, oxygen, and assisted ventilation during surgical procedures. Preventive and corrective maintenance activities allowed for the optimization of equipment performance, the identification of recurrent failures, and the reduction of operational downtime. Furthermore, the importance of conducting electrical safety and functional tests, as well as maintaining proper technical documentation for each intervention, was highlighted. Finally, the application of standardized technical procedures, based on manufacturer recommendations and international standards, contributed to improving the reliability of anesthesia equipment and strengthening biomedical maintenance management, ensuring patient safety and the quality of hospital services.

Keywords: Biomedical maintenance, anesthesia equipment, patient safety, international technical standards.

INDICE GENERAL

CARATULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INDICE GENERAL	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	xi
CAPÍTULO I INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos del informe	1
1.2. Estructura del informe	2
CAPÍTULO II INFORMACION DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLO LA ACTIVIDAD	3
2.1. Institución- Actividad que desarrolla	3
2.2. Periodo de duración de la actividad	3
2.3. Finalidad y objetivos de la entidad	3
2.4. Razón social	4
2.5. Dirección postal	4
2.6. Nombre y correo electrónico del profesional a cargo	4
CAPÍTULO III DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	5
3.1. Organización de la actividad	5
3.2. Finalidad y Objetivos de la Actividad	5

3.2.1. Finalidad	5
3.2.2. Objetivos	6
3.3. Problemática	6
3.3.1. Problema general	7
3.3.2. Problemas específicos	7
3.3.3. Justificación e importancia de la investigación	7
3.4. Metodología	8
3.4.1. Bases teóricas	8
3.4.2. Marco conceptual	26
3.5. Procedimiento	29
3.5.1. Tipo de Investigación	29
3.5.2. Procedimiento general del mantenimiento de equipos de anestesia	29
3.5.3. Determinación del mantenimiento técnico del equipo de anestesia	30
3.5.4. Instrumentos utilizados en el mantenimiento técnico	39
3.5.5. Verificación del funcionamiento del equipo posterior al mantenimiento	46
3.6. Resultado de la Actividad	50
3.6.1. Resultados del mantenimiento técnico del equipo de anestesia	50
3.6.2. Resultados obtenidos mediante el uso de instrumentos de medición	51
3.6.3. Verificación funcional y eléctrica del equipo de anestesia posterior al mantenimiento	52
CAPÍTULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
4.1. Descripción de la implementación	54

4.2. Evaluación Económica	56
4.2.1. Identificación y valoración de costos	56
4.2.2. Identificación y valoración de beneficios	57
4.2.3. Flujo de caja proyectado	57
4.2.4. Indicadores económicos	58
4.2.5. Análisis de sensibilidad	58
4.2.6. Conclusión de la evaluación económica	59
CAPÍTULO V CONCLUSIONES	60
CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES	62
CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA	64
CAPÍTULO VIII ANEXOS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la Empresa.	5
Figura 2 Ingreso a sala de Operaciones.	14
Figura 3 Vista interna de una sala de operaciones.	15
Figura 4 Componentes generales de una máquina de anestesia..	16
Figura 5 Conexiones y componentes del sistema de suministro de gases en la máquina de anestesia	17
Figura 6 Sistema de control y mezcla de gases.	18
Figura 7 Elementos principales del circuito respiratorio o sistema de ventilacion	19
Figura 8 Interfaz gráfica del sistema de monitoreo de una máquina de anestesia.	19
Figura 9 Esquema del fuelle en un ventilador de maquina Datex Ohmeda.	21
Figura 10 Partes del pistón.	22
Figura 11 Partes del blower de Perseus.	23
Figura 12 Esquema neumático de gases en una máquina de anestesia.	24
Figura 13 Modulo PGM (Patient Gas Module).	25
Figura 14 Principio de medicion del analizador de gases PGM basado en espectroscopia infraroja y sensor paramagnético.	26
Figura 15 Imagen de cambio de repuestos a una máquina de anestesia.	32
Figura 16 Montaje de prueba de hermeticidad de analizador de gases	33
Figura 17 Comprobación de fugas	34
Figura 18 Montaje de prueba para seguridad electrica	35
Figura 19 Analizador de seguridad eléctrica.	40

Figura 20 Manómetro digital	41
Figura 21 Multímetro	42
Figura 22 Flujómetro digital	43
Figura 23 Simulador de ECG	44
Figura 24 Simulador de SPO ₂	45
Figura 25 Analizador de gases anestésicos	46
Figura 26 Montaje para prueba del PANI.	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de tipos de ventilador en máquina de anestesia	20
Tabla 2 Procedimiento para mantenimiento preventivo de máquina de anestesia	31
Tabla 3 Procedimientos para un mantenimiento correctivo	37
Tabla 4 Fallas Comunes en máquina de anestesia	38
Tabla 5 Especificaciones técnicas analizador de seguridad electrica	40
Tabla 6 Especificaciones técnicas manómetro digital de 1 bar	41
Tabla 7 Especificaciones técnicas del multímetro	42
Tabla 8 Especificaciones técnicas de un flujómetro digital	43
Tabla 9 Especificaciones técnicas de un simulador multiparámetro	44
Tabla 10 Especificaciones técnicas de un simulador de SpO ₂	45
Tabla 11 Especificaciones técnicas del analizador de gases anestésicos	46
Tabla 12 Flujo de caja proyectado	58

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

En los establecimientos de salud, el mantenimiento de los equipos biomédicos constituye un componente esencial para garantizar la calidad, la seguridad y la continuidad de la atención médica. Una adecuada intervención técnica permite prevenir fallas, asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y reducir riesgos asociados a su uso clínico, especialmente en áreas críticas como la sala de operaciones.

Dentro de este contexto, los equipos de anestesia adquieren especial relevancia debido a su participación directa en los procedimientos quirúrgicos, ya que permiten la administración controlada de agentes anestésicos y proporcionan soporte ventilatorio al paciente durante la intervención. Cualquier deficiencia en su funcionamiento puede comprometer la seguridad del paciente y el desarrollo adecuado del acto quirúrgico, por lo que resulta indispensable asegurar su correcto mantenimiento.

La importancia del mantenimiento biomédico no se limita únicamente al aspecto técnico, sino que también contribuye a la eficiencia operativa de los servicios hospitalarios y al cumplimiento de estándares de seguridad en el entorno quirúrgico. En ese sentido, la experiencia profesional desarrollada en el área de mantenimiento biomédico permitió identificar la necesidad de realizar intervenciones técnicas oportunas y sistemáticas en los equipos de anestesia, con el fin de garantizar su disponibilidad y confiabilidad operativa.

1.1. Objetivos del informe

El objetivo general del presente informe es determinar el mantenimiento de un equipo de anestesia en la sala de operaciones de un hospital regional de

la costa, considerando las actividades técnicas realizadas durante la experiencia profesional y su contribución al adecuado funcionamiento del equipo en el entorno hospitalario.

1.2. Estructura del informe

El informe se encuentra organizado en seis capítulos. El Capítulo I presenta la introducción general del tema. El Capítulo II describe la información del lugar donde se desarrolló la actividad profesional. El Capítulo III expone la descripción de la actividad realizada, incluyendo la metodología aplicada y los procedimientos técnicos ejecutados. El Capítulo IV desarrolla la discusión de los resultados obtenidos. El Capítulo V presenta las conclusiones derivadas del trabajo realizado y, finalmente, el Capítulo VI formula recomendaciones orientadas a mejorar el mantenimiento de equipos biomédicos en los establecimientos de salud.

CAPÍTULO II INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1. Institución- Actividad que desarrolla

La actividad se ejecutó en la empresa DRAEGER Perú S.A.C., filial de la corporación internacional Dräger, dedicada a la fabricación, comercialización y soporte técnico de equipamiento especializado para los sectores salud e industria.

2.2. Periodo de duración de la actividad

La actividad se llevó a cabo desde el 15 de mayo del 2020 hasta la actualidad, periodo durante el cual se desarrollaron labores técnicas vinculadas al mantenimiento de equipos biomédicos, principalmente máquinas de anestesia.

2.3. Finalidad y objetivos de la entidad

DRAEGER Perú S.A.C. es una empresa que brinda soluciones integradas orientadas a los sectores salud e industria, ofreciendo equipamiento, consumibles y soporte técnico especializado. Su finalidad es proporcionar tecnologías confiables que respondan a las necesidades operativas de instituciones públicas y privadas, asegurando estándares elevados de seguridad, calidad y eficiencia.

Uno de los principales mercados atendidos por la empresa en el sector salud es el área quirúrgica, donde se suministran equipos como lámparas cialíticas, máquinas de anestesia, mesas de operaciones, estativas, cunas de calor radiante y aspiradores de secreciones, entre otros dispositivos esenciales para la atención crítica.

La filosofía corporativa de la marca, “Tecnología para la vida”, resume el propósito fundamental de Dräger: desarrollar productos que protegen, respaldan y salvan vidas. Este enfoque se refleja tanto en el diseño del equipamiento como en los servicios de soporte técnico.

2.4. Razón social

DRAEGER Perú S.A.C., identificada con el RUC 20538597121.

2.5. Dirección postal

La sede principal de DRAEGER Perú S.A.C. se encuentra ubicada en:

Av. San Borja Sur 573, Distrito de San Borja, Lima – Perú.

Código postal: 15036

2.6. Nombre y correo electrónico del profesional a cargo

El trabajo fue desarrollado en DRAEGER Perú S.A.C., bajo la supervisión del profesional responsable:

Anthony Ricardo Gonzales Huisa

Correo: anthony.gonzales@draeger.com

3.2.2. Objetivos

3.2.2.1. *Objetivo General*

Determinar el mantenimiento de un equipo de anestesia en la sala de operaciones de un hospital regional de la costa.

3.2.2.2. *Objetivos Específicos*

- Determinar el mantenimiento técnico de un equipo de anestesia.
- Identificar los instrumentos necesarios para la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo de un equipo de anestesia en la sala de operaciones de un hospital regional de la costa.
- Verificar el óptimo funcionamiento de un equipo de anestesia después de realizar el mantenimiento técnico.

3.3. Problemática

Entre los principales problemas identificados se encuentran la falta de estandarización en los procedimientos técnicos, la ausencia de documentación estructurada y la ejecución irregular de actividades de mantenimiento. Estas deficiencias generan brechas entre las prácticas realizadas en campo y los lineamientos recomendados por los fabricantes, así como por las normas internacionales vigentes en materia de seguridad eléctrica y desempeño electromédico, tales como la IEC 60601, IEC 62353 e ISO 13485.

Asimismo, se observa frecuentemente una limitada capacitación del personal técnico, la disponibilidad insuficiente de repuestos originales y la carencia de herramientas especializadas para la verificación funcional del sistema respiratorio y neumático de las máquinas de anestesia. Esto puede ocasionar diagnósticos incompletos, intervenciones no concluyentes y aumento del riesgo de fallas operativas durante un procedimiento quirúrgico.

En muchos casos, estas máquinas no cuentan con un registro adecuado de historial de mantenimiento, lo cual dificulta la trazabilidad de intervenciones

previas y afecta la capacidad para identificar patrones de falla o definir tiempos de intervención fiables. Esta situación incrementa el riesgo clínico y compromete la confiabilidad del equipo en el entorno quirúrgico, donde su funcionamiento debe ser continuo, preciso y seguro.

Finalmente, la ausencia de protocolos uniformes y de un sistema de gestión de mantenimiento basado en evidencia técnica, estándares internacionales y recomendaciones del fabricante, constituye una problemática que afecta directamente la calidad del servicio y la seguridad del paciente. Esto hace necesaria la implementación de procedimientos sistemáticos, verificaciones funcionales rigurosas y un registro completo de las intervenciones, a fin de garantizar que las máquinas de anestesia operen bajo condiciones óptimas conforme a las exigencias clínicas.

3.3.1. Problema general

- ¿Cómo realizar el mantenimiento de un equipo de anestesia en la sala de operaciones de un hospital regional de la costa?

3.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo ejecutar el mantenimiento técnico de un equipo de anestesia?
- ¿Qué instrumentos son necesarios para la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo de un equipo de anestesia en la sala de operaciones de un hospital regional de la costa?
- ¿Cómo verificar el óptimo funcionamiento de un equipo de anestesia después de realizar el mantenimiento técnico?

3.3.3. Justificación e importancia de la investigación

3.3.3.1. Justificación teórica

El trabajo aporta a la comprensión y sistematización de los procesos de mantenimiento biomédico, integrando normas internacionales (IEC 60601, IEC 62353, ISO 13485) y lineamientos del fabricante. Su desarrollo permite consolidar conocimientos técnicos y organizarlos en un marco conceptual útil

para futuras aplicaciones académicas o profesionales, reforzando la base teórica necesaria para la gestión del mantenimiento en equipos críticos.

3.3.3.2. *Justificación práctica*

La correcta operación de los equipos de anestesia es esencial para garantizar la seguridad del paciente y la continuidad del acto quirúrgico. Un mantenimiento inadecuado puede generar errores en la dosificación de gases anestésicos, interrupciones en la ventilación o fallas eléctricas que comprometan la integridad del paciente y del personal médico.

El presente trabajo técnico permite demostrar la experiencia profesional adquirida en la ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos conforme a los procedimientos del fabricante, utilizando instrumentos calibrados y cumpliendo con las normas internacionales (IEC 60601, ISO 13485 y directivas del MINSA).

3.3.3.3. *Justificación metodológica*

Metodológicamente, el presente trabajo se justifica porque sistematiza una secuencia de actividades técnicas, desde la identificación de fallas hasta la validación final del equipo mediante pruebas funcionales y eléctricas. Esta estructura contribuye a clarificar procedimientos, definir etapas verificables y establecer criterios técnicos que pueden emplearse como referencia en procesos similares. Asimismo, ofrece un método replicable, basado en protocolos del fabricante y normas internacionales. Ello incrementa la calidad, trazabilidad y consistencia de las intervenciones en equipos biomédicos.

3.4. Metodología

3.4.1. Bases teóricas

3.4.1.1. *Antecedentes nacionales*

Orrego (2022) destaca en su tesis Gestión administrativa y procedimientos de mantenimiento de equipos biomédicos de hemodiálisis del

Hospital Nacional Hipólito Unanue la importancia de establecer cronogramas de mantenimiento que garanticen la continuidad operativa de los equipos médicos, concluyendo que la planificación adecuada reduce los tiempos de inactividad.

Adicional a ello, estudios recientes como los de Barf (2019), Palian (2023), Palomino (2019) y López (2020) coinciden en que la sistematización de los planes de mantenimiento, la capacitación técnica y la documentación de cada intervención son prácticas esenciales para fortalecer la seguridad y el desempeño confiable de los equipos biomédicos.

3.4.1.2. Antecedentes internacionales

Muñoz (2008), en su tesis Manual de protocolos de mantenimiento de equipos biomédicos para el Hospital Susana López de Valencia E.S.E., propone la creación de protocolos estandarizados basados en riesgos, demostrando la necesidad de fortalecer la planificación del mantenimiento y el seguimiento de garantías. Este aporte fundamenta la estructura metodológica del presente trabajo, orientada a la prevención de fallas y a la trazabilidad técnica.

Yesid (2021), en su investigación Desarrollo de un sistema de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos biomédicos del Hospital San Antonio del Cerrito, demuestra que la implementación de protocolos estructurados mejora significativamente la disponibilidad de los equipos y asegura diagnósticos confiables.

Cuecuecha (2010), en Administración y optimización de quirófanos, evidenció que un programa de mantenimiento eficiente, flexible y en mejora continua es clave para minimizar fallas y garantizar la seguridad del paciente.

Zamzam et al. (2021), en su revisión sistemática Medical Equipment Reliability and Parameters Used to Assess Equipment Condition, destacan la necesidad de utilizar indicadores de confiabilidad como el MTBF (Mean Time Between Failures) y el MTTR (Mean Time To Repair), así como la importancia de la documentación técnica y la capacitación del personal técnico. Su estudio refuerza la relevancia de aplicar metodologías de gestión orientadas a la disponibilidad y seguridad de los equipos médicos, lo cual coincide con lo propuesto por Al-Bahadili (2019) en Biomedical Equipment Maintenance

Management, donde se promueve la integración de sistemas de gestión basados en la trazabilidad y la mejora continua.

Venkatesh (2005), en *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*, resalta que el mantenimiento es un componente esencial en la productividad industrial y sanitaria, siendo una práctica aplicable también al entorno hospitalario para garantizar la fiabilidad de los equipos médicos.

Por su parte, Tavares (2000), en *Administración moderna del mantenimiento*, enfatiza la necesidad de integrar sistemas informatizados de gestión de mantenimiento (GMAO) que optimicen los recursos, reduzcan los costos y mejoren la trazabilidad de las intervenciones. Estos sistemas, combinados con la gestión de calidad de la ISO 13485:2016 (2016), permiten documentar, planificar y validar cada actividad técnica con respaldo normativo.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), el mantenimiento biomédico se define como el conjunto de acciones planificadas que buscan garantizar la disponibilidad, seguridad y confiabilidad de los equipos médicos durante su vida útil. Estas acciones incluyen actividades preventivas, correctivas y predictivas, que deben realizarse siguiendo procedimientos estandarizados, trazables y orientados a la gestión del riesgo clínico.

Fennigkoh y Smith (1989) establecieron que la gestión del mantenimiento biomédico se fundamenta en tres pilares esenciales: seguridad, confiabilidad y disponibilidad operativa. La seguridad busca evitar riesgos eléctricos, mecánicos o de gases; la confiabilidad garantiza el funcionamiento continuo del equipo; y, por último, la disponibilidad asegura que los dispositivos estén operativos cuando el paciente los requiera. Estos principios han sido adoptados por organismos internacionales como la ISO (2016) y la IEC (2015), cuyas normas —IEC 60601, IEC 62353 e ISO 13485— establecen los requisitos para la calidad, desempeño y seguridad de los equipos electromédicos.

La Organización Mundial de la Salud (2011), en su documento *Medical Equipment Maintenance Programme Overview*, establece directrices internacionales para la implementación de programas de mantenimiento hospitalario. Estas normas enfatizan la importancia de planificar, ejecutar y controlar mantenimientos preventivos y correctivos, con base en el riesgo clínico

y la criticidad del equipo médico. En esta misma línea, la ISO 31000 (2018) recomienda la aplicación de metodologías de evaluación de riesgos para priorizar intervenciones y reducir fallas críticas.

Goneppanavar (2013), en *Anaesthesia Machine: Checklist, Hazards, Scavenging*, desarrolla una guía técnica detallada sobre la verificación de las máquinas de anestesia. Destaca la necesidad de listas de chequeo preventivas que permitan evaluar componentes críticos, tales como el vaporizador, el sistema respiratorio y las líneas de gases. Este estudio respalda la importancia del mantenimiento sistemático y la verificación funcional periódica como parte de una cultura de seguridad en anestesia.

Morataya (2012), en su tesis *Producción más limpia en el proceso de climatización de los quirófanos de un hospital de accidentes de la ciudad de Guatemala*, explica que el quirófano es un espacio cerrado e independiente que requiere de una infraestructura adecuada, dentro de la cual uno de los equipos esenciales es la máquina de anestesia. Este equipo integra bloques interconectados para el suministro de gases anestésicos, la reinhalación, la ventilación y el monitoreo de signos vitales, por lo que su mantenimiento periódico es indispensable para garantizar la seguridad del paciente.

3.4.1.3. Dispositivo médico

Según la Organización Mundial de la Salud (2021), un dispositivo médico es todo instrumento, aparato, equipo o máquina destinado al diagnóstico, prevención, monitoreo o tratamiento de enfermedades en seres humanos. La norma ISO 13485:2016 (2016) establece que estos dispositivos deben ser diseñados, fabricados y mantenidos bajo un sistema de gestión de calidad que garantice su funcionamiento seguro, confiable y trazable.

En el entorno hospitalario, los dispositivos médicos se clasifican según su nivel de riesgo y función clínica. Las máquinas de anestesia se consideran equipos de riesgo crítico, debido a su intervención directa en la ventilación controlada y en la administración de gases anestésicos durante procedimientos quirúrgicos (Dorsch y Dorsch, 2012; Miller, 2020).

3.4.1.4. Mantenimiento de equipos biomédicos

El mantenimiento biomédico es el conjunto de acciones técnicas, administrativas y de gestión orientadas a conservar o restablecer la funcionalidad de los equipos médicos. De acuerdo con la OMS (2011), su finalidad es asegurar que los dispositivos operen dentro de parámetros seguros y confiables durante toda su vida útil. El mantenimiento incluye tareas como la inspección visual, la calibración de sensores, la verificación funcional, las pruebas de seguridad eléctrica y la documentación de resultados (MINSA, 2019). Según Fennigkoh y Smith (1989), su gestión se basa en tres objetivos principales: seguridad, confiabilidad y disponibilidad.

Complementariamente, Al-Bahadili (2019) destaca la importancia de aplicar modelos de mantenimiento basados en el ciclo de vida del equipo, la trazabilidad documental y la capacitación del personal técnico.

3.4.1.5. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento técnico se puede dividir en tres categorías principales, cada una con un propósito y una naturaleza particulares (Taghipour y Banjevic, 2011). La OMS (2015) propone que estos tres enfoques se incorporen en un plan completo de mantenimiento, priorizando la maquinaria con mayor riesgo clínico, como es el caso de las máquinas de anestesia. A continuación, se muestran las características de estos tres tipos de mantenimiento.

- **Mantenimiento predictivo**

Consiste en la evaluación del estado real del equipo mediante técnicas de diagnóstico y monitoreo continuo (vibración, temperatura, horas de uso, historial de fallas), con el objetivo de anticipar averías antes de que ocurran. Esta estrategia optimiza los recursos al programar las intervenciones según la condición del equipo y no solo por tiempo de uso. Este tipo de mantenimiento permite anticipar fallas mediante la observación de variables físicas o eléctricas asociadas al desgaste del equipo (Taghipour y Banjevic, 2011).

- **Mantenimiento preventivo**

Tiene como objetivo prolongar la vida útil del equipo y mantenerlo en condiciones óptimas de funcionamiento. Incluye actividades periódicas como

limpieza, ajuste, lubricación y reemplazo de piezas vulnerables (Rodríguez, 2010).

Según García (2012), una planificación adecuada del mantenimiento preventivo incrementa la confiabilidad de los equipos y reduce los riesgos de interrupciones del servicio o fallas inesperadas. Además, este tipo de mantenimiento permite cumplir con los estándares de seguridad y calidad establecidos por los fabricantes.

- **Mantenimiento correctivo**

Busca reparar las averías que ocurren durante el uso del equipo, restaurando su funcionalidad original. Estas intervenciones pueden implicar costos elevados y periodos prolongados de inactividad. Por ello, su frecuencia debe minimizarse mediante la correcta aplicación del mantenimiento preventivo.

Complementariamente, Taghipour y Banjevic (2011) proponen el mantenimiento predictivo como una estrategia moderna, basada en la observación de variables eléctricas y mecánicas, que permite anticipar fallas y optimizar los recursos disponibles. Asimismo, Abdel-Ghany et al. (2020) evidencian que la aplicación de programas preventivos bajo las normas IEC 62353 e ISO 13485 mejora la confiabilidad y reduce significativamente las interrupciones operativas en hospitales.

En conclusión, las bases teóricas del mantenimiento biomédico se sustentan en la integración de marcos normativos internacionales, modelos de gestión de calidad, estrategias de confiabilidad y protocolos técnicos validados. Estas referencias consolidan el fundamento metodológico que guía la presente investigación, aplicada al mantenimiento de máquinas de anestesia, garantizando la seguridad del paciente y la eficiencia del sistema hospitalario.

3.4.1.6. Sala de Operaciones

De acuerdo con Abel (2017) la sala de operaciones o quirófano es un área estéril y aislada del resto del hospital, destinada a realizar intervenciones quirúrgicas. Su diseño debe garantizar la seguridad microbiológica, el control ambiental y la accesibilidad del personal y los equipos.

El área quirúrgica se organiza en tres zonas principales:

- **Zona negra:** Acceso general y áreas administrativas.
- **Zona gris:** Tránsito de camillas y preparación del personal médico.
- **Zona blanca:** Espacio estéril donde se ubican los equipos biomédicos y se desarrolla la cirugía.

Cada una de estas zonas requiere condiciones de higiene y control ambiental específicas para asegurar la asepsia y el correcto funcionamiento del equipamiento médico (ver Figura 2).



Figura 2 Ingreso a sala de Operaciones. Fuente. Tomado de Abel (2017).

La infraestructura del quirófano también incluye sistemas de gases medicinales, iluminación quirúrgica, climatización y sistemas eléctricos aislados, los cuales influyen directamente en la seguridad de los procedimientos (ver Figura 3).

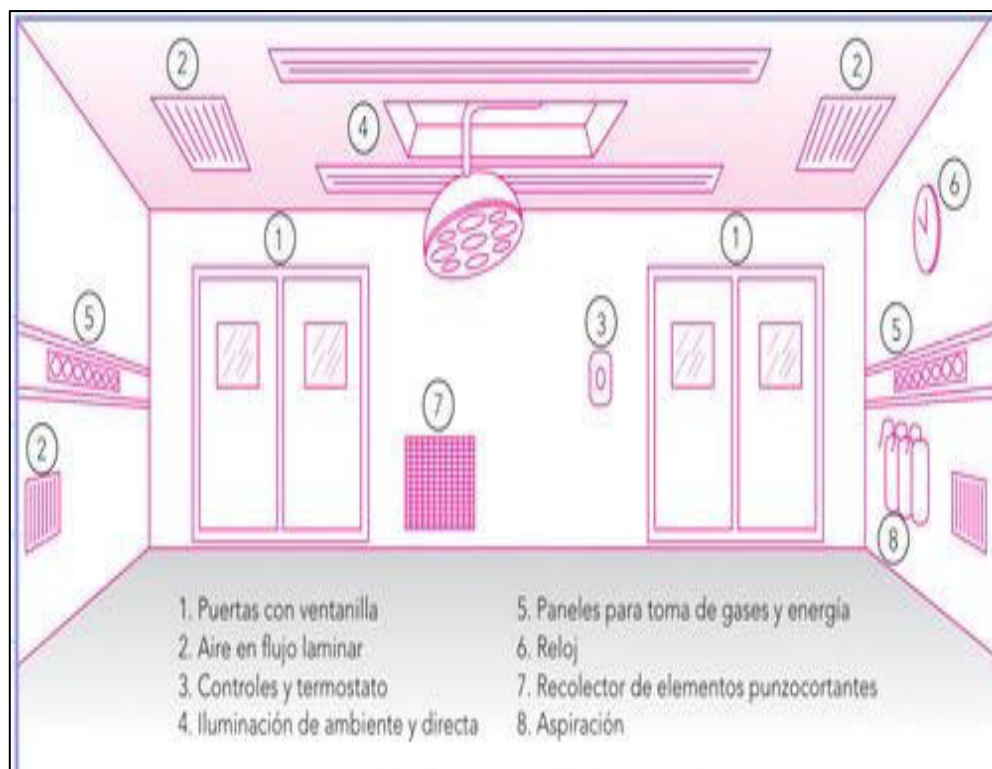


Figura 3 Vista interna de una sala de operaciones. Fuente. Tomado de Abel (2017).

3.4.1.7. Máquina de Anestesia

Es un equipo médico de soporte vital indispensable en los procedimientos quirúrgicos, cuyo propósito es suministrar una mezcla precisa de gases anestésicos y oxígeno al paciente, manteniendo una ventilación controlada y segura durante la cirugía. Su correcto funcionamiento es esencial para garantizar la seguridad del paciente y la eficacia del procedimiento anestésico.

De acuerdo con Goneppanavar (2013), la máquina de anestesia moderna integra sistemas neumáticos, electrónicos y de control que operan de manera sincronizada para proporcionar una anestesia segura. Estos sistemas permiten regular la concentración de gases, controlar la presión y volumen administrados, y monitorear en tiempo real las variables respiratorias.

El Manual Técnico de Dräger (2023) clasifica las máquinas de anestesia como equipos modulares y computarizados, compuestos por diferentes subsistemas: el sistema de suministro de gases, el sistema de mezcla y vaporización, el sistema respiratorio o de ventilación, el sistema de monitoreo y el sistema de control electrónico (ver Figura 4).

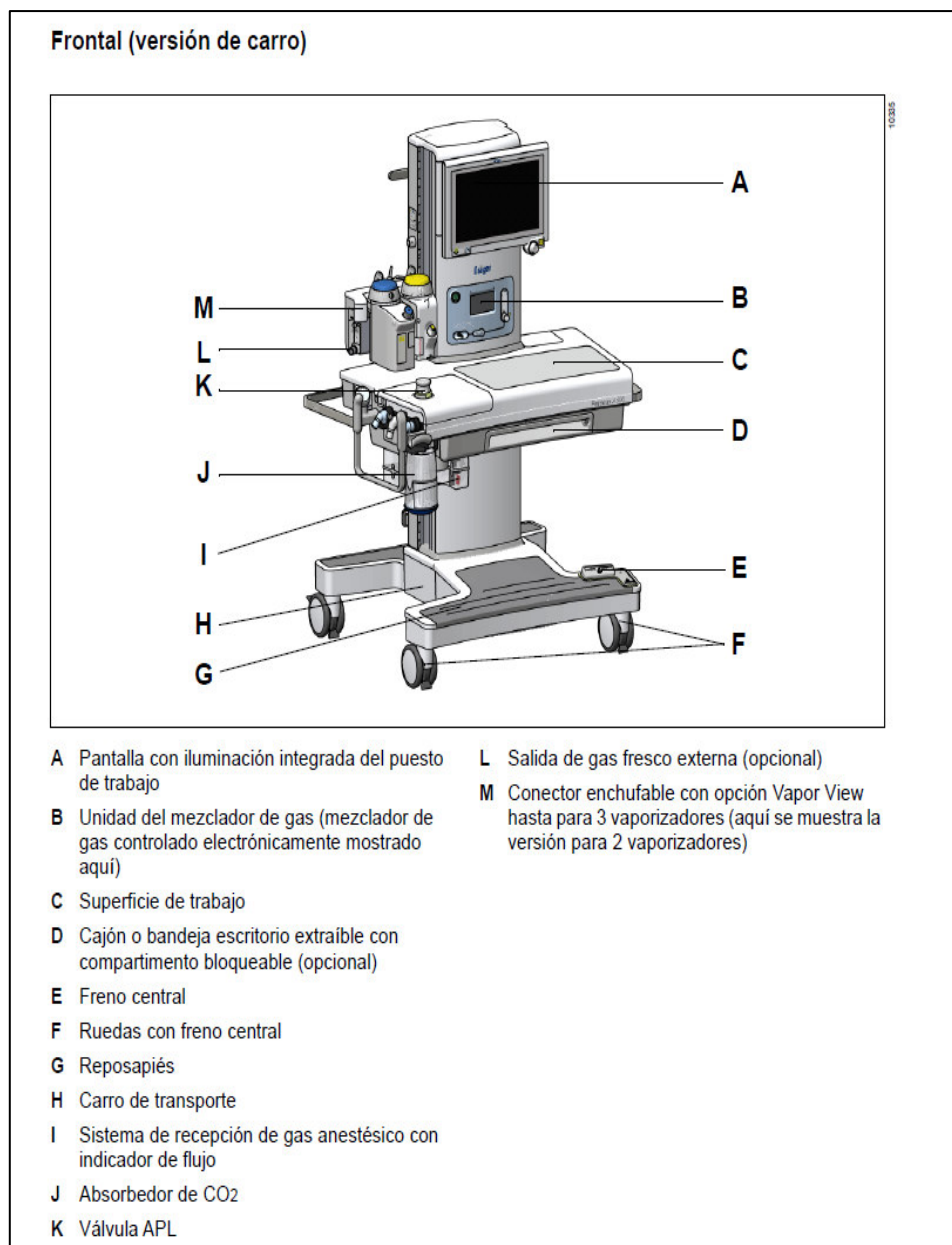


Figura 4 Componentes generales de una máquina de anestesia. Fuente. Tomado de Dräger – Technical Service Manual: Perseus A500 (2003).

A. Subsistemas de la máquina de anestesia

▪ Sistema de suministro de gases

Está conformado por los cilindros o líneas centrales de oxígeno (O₂), óxido nitroso (N₂O) y aire medicinal, conectados al equipo mediante válvulas y reguladores de presión. Estos dispositivos reducen la presión del gas de alta presión (50 psi aprox.) a una presión operativa segura cercana a 4 bar, garantizando un flujo constante hacia los módulos internos (ver Figura 5).

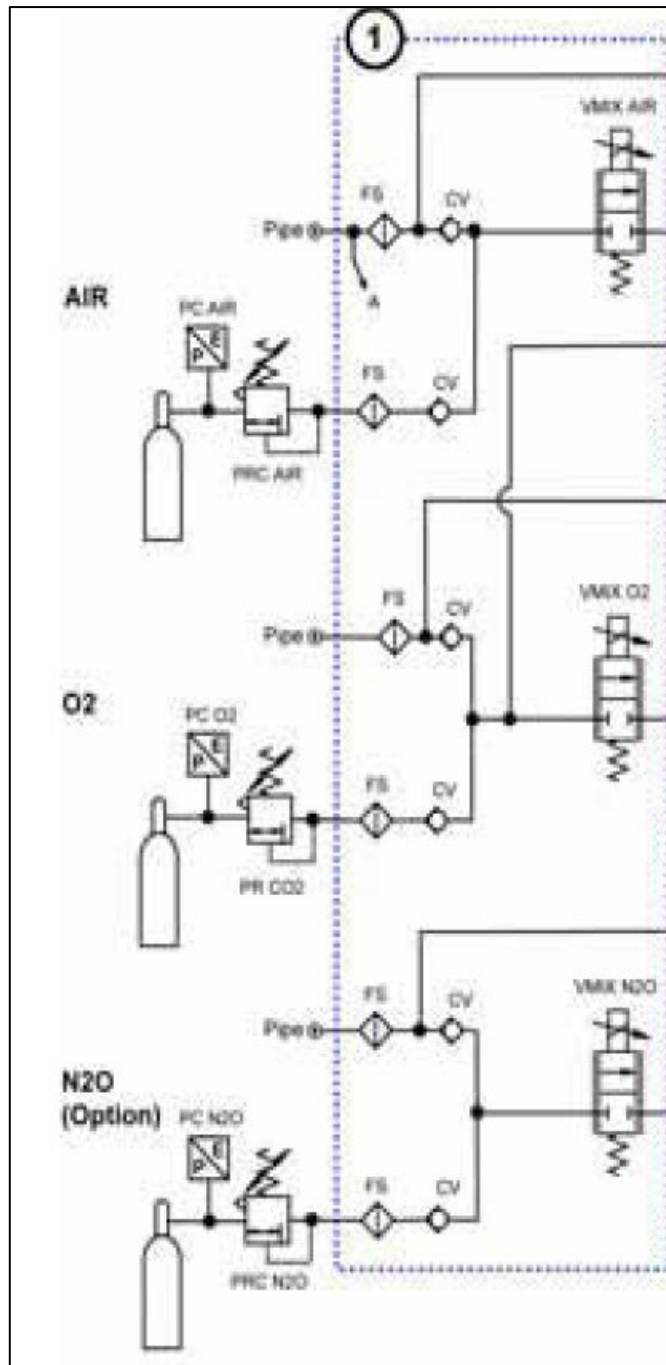


Figura 5 Conexiones y componentes del sistema de suministro de gases en la máquina de anestesia. Fuente: Tomado de Dräger – Technical Service Manual: Perseus A500 (2003).

▪ Sistema de control y mezcla de gases

Este sistema regula la proporción exacta de gases frescos que ingresan al circuito respiratorio. La mezcla se realiza mediante válvulas proporcionales electrónicas, flujómetros calibrados y vaporizadores que convierten el agente anestésico líquido (sevoflurano, isoflurano o desflurano) en vapor (ver Figura 6).



- **Sistema respiratorio o de ventilación**

El circuito respiratorio comprende las válvulas inspiratoria y espiratoria, el fuelle o pistón de ventilación, el absorbedor de CO₂ y el sistema de AGS para eliminar gases residuales. Durante la inspiración, la mezcla anestésica se impulsa hacia el paciente. Durante la espiración, el gas exhalado retorna al circuito, donde se elimina el CO₂ mediante el absorbente y se recircula el gas restante (ver figura 7).

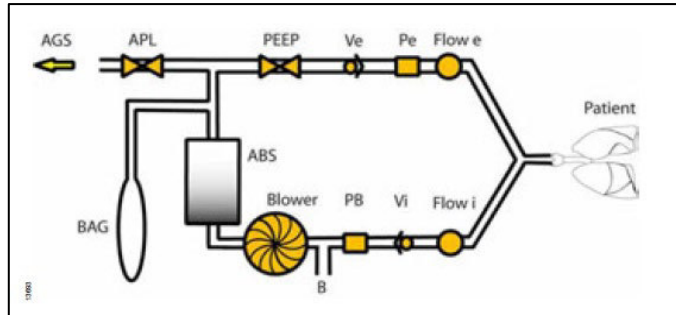


Figura 7 Elementos principales del circuito respiratorio o sistema de ventilación. Fuente. Tomado de Dräger – Technical Service Manual: Perseus A500 (2003).

▪ Sistema de monitoreo

Permite visualizar en tiempo real las variables de ventilación y anestesia. Incluye sensores para medir O_2 , CO_2 , N_2O , presión y flujo. Los valores se presentan en una pantalla táctil, que además muestra alarmas visuales y auditivas en caso de desviaciones críticas.

Las máquinas modernas, como la Dräger Primus y Perseus A500, ejecutan rutinas automáticas de autoverificación, calibración y prueba de fugas antes de cada uso, conforme a las normas IEC 60601 e IEC 62353 (ver Figura 8).



Figura 8 Interfaz gráfica del sistema de monitoreo de una máquina de anestesia. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)

▪ **Sistemas de ventilación**

Las máquinas de anestesia utilizan distintos sistemas de ventilación, según el modelo y la tecnología:

- **Ventilador de fuelle (Dathex Omeda Serov S):** Emplea un gas impulsor (O_2 o aire comprimido) que comprime un fuelle conteniendo la mezcla anestésica.
- **Ventilador de pistón (Dräger Primus):** Utiliza un motor eléctrico que desplaza un pistón, ofreciendo precisión y bajo nivel de ruido.
- **Ventilador tipo blower (Dräger Perseus A500):** Funciona mediante una turbina de alta velocidad que genera flujo controlado electrónicamente.

Cada tipo de ventilador presenta ventajas operativas específicas. Su elección depende del entorno clínico y del modelo del equipo (ver Tabla 1).

Tabla 1 Comparación de tipos de ventilador en máquina de anestesia

Característica	Fuelle	Pistón	Turbina
Qué lo mueve	Gas comprimido	Motor eléctrico	Motor turbina
Precisión de volúmenes	Media	Alta	Alta
Visibilidad del movimiento	Visible	No visible	No visible
Uso en pediatría	Limitado	Bueno	Excelente
Complejidad tecnológica	Media	Alta	Muy alta
Costo	Menor	Medio	Mayor

Fuente. Elaboración propia.

B. Modelos de máquinas de anestesia

▪ Modelo GE Datex Ohmeda Aisys CS2

Este modelo de GE Healthcare utiliza un sistema de ventilador de fuelle impulsado por gas comprimido, en el que el fuelle contiene la mezcla de gas fresco destinada al paciente. Durante la inspiración, un gas presurizado externo comprime el fuelle, impulsando el gas hacia el paciente. Durante la espiración, el fuelle se llena pasivamente con gas fresco mientras el paciente exhala a través de una válvula espiratoria.

Este tipo de sistema, aunque más tradicional, ofrece una visualización directa del ciclo ventilatorio y mantiene un funcionamiento confiable, siendo aún utilizado en múltiples centros quirúrgicos (ver Figura 9).

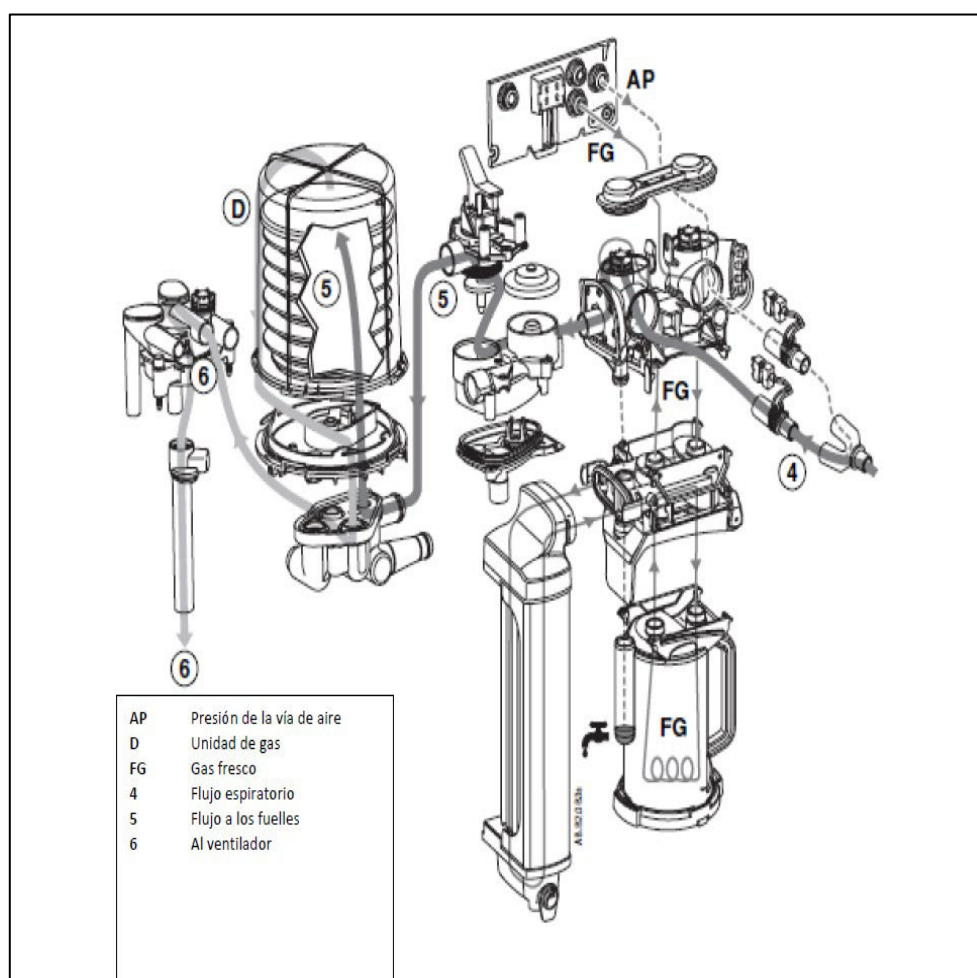


Figura 9 Esquema del fuelle en un ventilador de máquina Datex Ohmeda. Fuente Tomado de GE Healthcare – Aisys CS2 Technical Reference Manual (2021).

▪ **Modelo Dräger Primus**

Las máquinas de anestesia Dräger Primus están equipadas con un sistema de ventilación por pistón motorizado, el cual reemplaza el uso del gas impulsor por un motor eléctrico, que genera la presión necesaria para el suministro de gas fresco al paciente.

El sistema consta de una unidad de cilindro y émbolo conectados mediante un husillo, cuyo movimiento vertical genera el volumen de gas requerido. La precisión del desplazamiento se controla mediante un emisor incremental, con resolución de 1024 impulsos por revolución, lo cual garantiza una ventilación controlada y segura.

El motor del émbolo es regulado electrónicamente a través de las tarjetas de control del sistema VGC (Ventilation Gas Control). Antes de cada operación, el sistema realiza un autocalibrado que establece la posición de referencia del émbolo mediante una barrera óptica (ver Figura 10).

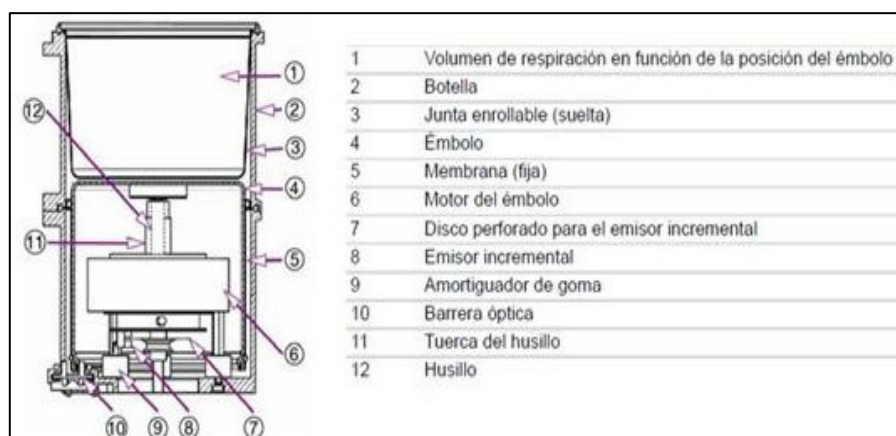


Figura 10 Partes del pistón. Fuente. Tomado de Primus Tehcnical Service Manual (Dräger, 2022).

▪ **Modelo Dräger Perseus A500**

Las máquinas de anestesia Dräger Perseus A500 utilizan un sistema de ventilación por blower (soplador radial) controlado electrónicamente. Este sistema permite alcanzar presiones respiratorias de hasta 80 mbar y ajusta la ventilación, según los valores medidos por los sensores de flujo y presión del sistema respiratorio.

El blower es accionado por un motor eléctrico sin escobillas, equipado con sensores Hall. Estos últimos determinan la posición del rotor y controlan la generación del campo magnético impulsor. Este diseño garantiza una respuesta rápida y una entrega de gas precisa durante los modos de ventilación controlada o asistida.

El sistema cuenta con un ventilador interno que evita la acumulación de calor, asegurando la estabilidad térmica del motor. La estanqueidad del conjunto se mantiene mediante una junta tórica que soporta presiones de hasta 140 mbar (ver Figura 11).

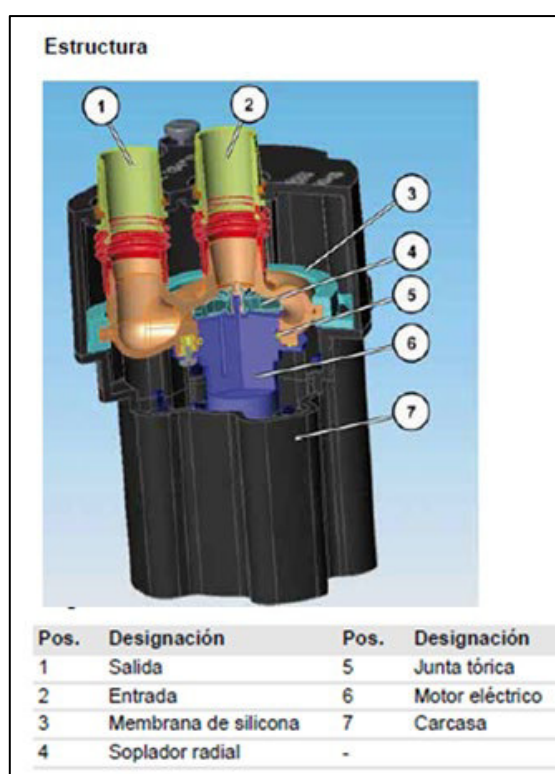


Figura 11 Partes del blower de Perseus. Fuente. Tomado de Technial Service Manual: Perseus A500 (Dräger, 2023).

C. Principio de funcionamiento general

El principio de funcionamiento se basa en la mezcla, dosificación y entrega controlada de gases. El sistema toma los gases desde las fuentes, los mezcla en proporciones definidas y los suministra al circuito respiratorio. Los sensores internos miden en tiempo real la presión, el flujo y la concentración de

(3) Sistema de seguridad O₂ fail-safe: Corta automáticamente el flujo de N₂O si la presión de O₂ cae por debajo del umbral seguro.

(4) Válvula de flush de O₂: Permite la inyección directa de oxígeno puro al circuito respiratorio en situaciones de emergencia (35–75 L/min).

(5) Circuito respiratorio: Transporta la mezcla final hacia el paciente mediante el sistema de ventilación (fuelle, pistón o blower).

El diseño neumático incluye reguladores, válvulas proporcionales, restrictoras de flujo y sensores de presión, todo interconectado mediante tubos de acero inoxidable y mangueras flexibles de alta presión. El equilibrio entre el control neumático y el electrónico garantiza una ventilación segura y estable.

E. Analizador de gases PGM (Patient Gas Module)

Es un componente fundamental para el monitoreo de la mezcla respiratoria. Este módulo mide en tiempo real las concentraciones de O₂, CO₂, N₂O y los agentes anestésicos halogenados.

Su principio de funcionamiento se basa en la espectroscopia infrarroja no dispersiva (NDIR) para detectar gases anestésicos y dióxido de carbono, mientras que la concentración de oxígeno se determina mediante una celda galvánica paramagnética.

El gas de muestra es aspirado desde el circuito respiratorio del paciente hacia la cámara de análisis mediante una bomba interna con flujo controlado. El módulo PGM realiza compensaciones automáticas de presión y temperatura, y sus lecturas se visualizan en el monitor central del equipo (ver Figura 13).

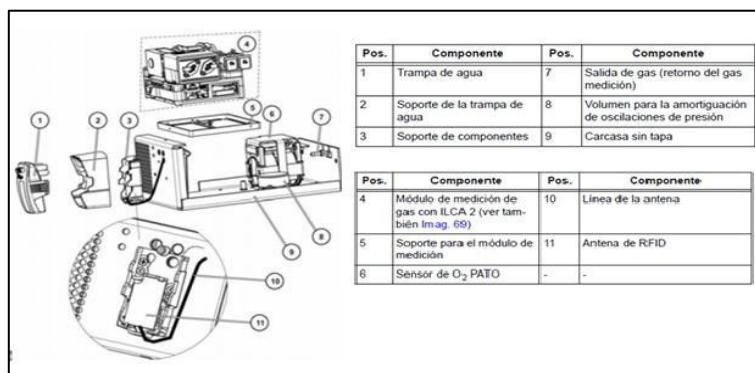


Figura 13 Módulo PGM (Patient Gas Module). Fuente. Tomado de Technical Service Manual: Perseus A500 (Dräger, 2023).

Entre las principales funciones del PGM se incluyen:

- Medición de la fracción inspirada y espirada de O_2 , CO_2 y agentes anestésicos.
- Detección de fugas o mezcla inadecuada de gases.
- Verificación de la eficiencia del sistema de vaporización.
- Almacenamiento y transmisión de datos hacia el sistema de gestión del paciente.

El mantenimiento del módulo PGM requiere limpieza periódica de filtros, calibración de sensores y reemplazo de la celda de oxígeno, según el tiempo de vida útil especificado por el fabricante (ver Figura 14).

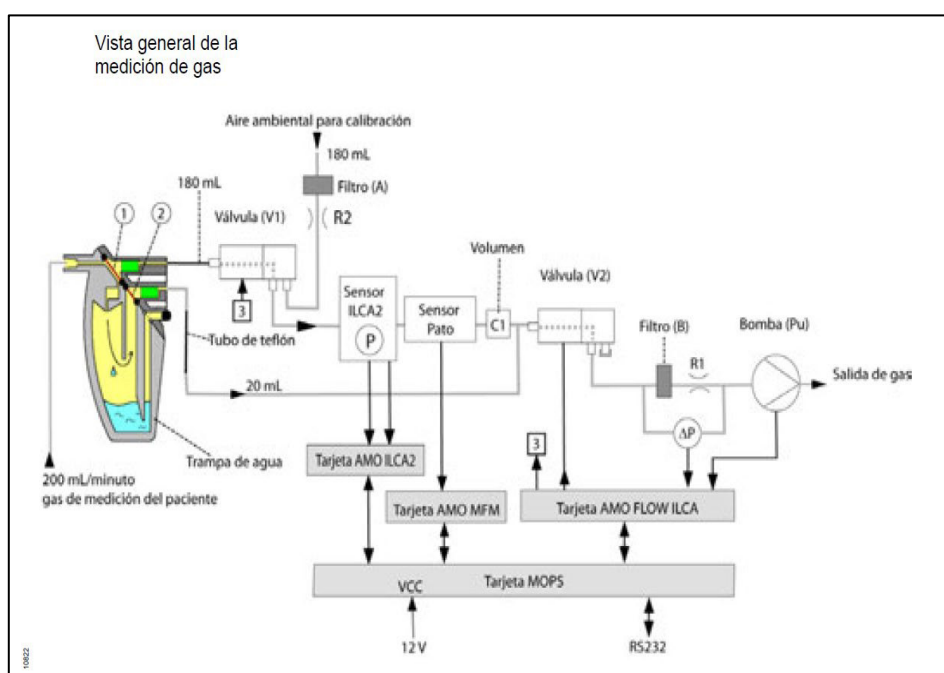


Figura 14 Principio de medición del analizador de gases PGM basado en espectroscopia infrarroja y sensor paramagnético. Fuente: Tomado de Technical Service Manual: Perseus A500 (Dräger, 2023).

3.4.2. Marco conceptual

- **IEC 62353:** Pruebas recurrentes y verificaciones de seguridad eléctrica posteriores a reparación.

- **IEC 60601-1:** Requisitos de seguridad eléctrica y desempeño esencial en equipos electromédicos.
- **ISO 13485:2016:** Sistema de gestión de calidad en la fabricación y mantenimiento de dispositivos médicos.
- **ISO 31000:2018:** Gestión del riesgo en organizaciones técnicas.
- **ISO 7396-1:2019:** Sistemas de canalización de gases medicinales.
- **Guía técnica MINSA (2019):** Lineamientos nacionales para el mantenimiento biomédico en el Perú.
- **OMS:** Organización Mundial de la Salud.
- **Seguridad microbiológica:** Conjunto de medidas para prevenir la contaminación por microorganismos dañinos (bacterias, virus, hongos) en alimentos, productos y ambientes, protegiendo la salud pública y garantizando la inocuidad.
- **Asepsia:** Conjunto de técnicas y procedimientos para impedir la entrada de microorganismos patógenos (bacterias, virus, hongos) en un ambiente o sobre materiales, evitando así infecciones, especialmente en medicina y cirugía, mediante la esterilización y limpieza rigurosa para crear un espacio libre de gérmenes.
- **Gases anestésicos:** Sustancias inhaladas para inducir y mantener la pérdida de conciencia y la analgesia en procedimientos médicos.
- **Ventilación controlada:** Es un modo de ventilación mecánica (VM) donde el respirador realiza todas las respiraciones (como la Asistida-Controlada o PCV) para pacientes que no pueden respirar solos, controlando presiones o volúmenes para proteger los pulmones y garantizar el intercambio de gases.
- **Conexión NIST o DISS:** Son sistemas de conexión para gases medicinales que evitan intercambios incorrectos.
- **Válvula proporcional:** Componente de control que regula el flujo o la presión de un fluido (líquido o gas) de manera continua y precisa, ajustando la apertura de su elemento interno en proporción directa a una señal de entrada eléctrica (voltaje o corriente).

- **Fuelle de ventilación:** Es un depósito flexible (tipo acordeón) que se comprime para generar un flujo de gas al paciente, común en máquinas de anestesia.
- **Pistón de ventilación:** Es un actuador mecánico, a menudo eléctrico, que desplaza el gas, ofreciendo mayor precisión y eficiencia energética.
- **Turbina:** Dispositivo que usa la energía del aire (o agua/vapor) para generar movimiento rotatorio.
- **Absorbedor de CO₂:** Es un material o sistema que captura dióxido de carbono, comúnmente usado en anestesia para eliminar el CO₂ exhalado por el paciente.
- **Soplador radial:** Es un artefacto eléctrico que tiene la facultad de generar un impulso de viento con un ventilador.
- **Sensores hall:** Son dispositivos que detectan campos magnéticos y convierten esa detección en una señal eléctrica (voltaje), basándose en el efecto Hall, donde un campo magnético desvía los electrones en un material conductor, generando una tensión transversal.
- **Hipoxia:** Condición médica donde hay una disminución del suministro de oxígeno a los tejidos y órganos del cuerpo.
- **Válvula antirretorno:** Es un dispositivo que permite el flujo de líquidos o gases en una sola dirección dentro de una tubería, bloqueando automáticamente cualquier flujo en sentido contrario para prevenir el retroceso.
- **Regulador de Presión:** Es una válvula que reduce y mantiene constante una alta presión de entrada (de líquidos o gases) a un nivel más bajo y estable.
- **Espectroscopia infrarroja no dispersiva:** Es una técnica sencilla y compacta para detectar y medir la concentración de gases específicos (como CO₂, CO, metano) midiendo cuánta luz infrarroja absorben a una longitud de onda característica, sin usar elementos dispersivos como prismas o rejillas, sino filtros ópticos de banda estrecha para seleccionar la región espectral del gas de interés.

- **Sensor paramagnético:** Es un dispositivo de alta precisión que mide la concentración de oxígeno en un gas, aprovechando que el oxígeno es atraído por los campos magnéticos (paramagnetismo).

3.5. Procedimiento

El mantenimiento de una máquina de anestesia requiere la aplicación de procedimientos técnicos estandarizados basados en las recomendaciones del fabricante y las normas internacionales de seguridad biomédica. Para el desarrollo de este informe se analizaron los manuales técnicos de distintos modelos de máquinas de anestesia, elaborándose un protocolo generalizado aplicable tanto a mantenimientos preventivos como correctivos. A continuación, se detallan las actividades principales:

3.5.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo descriptivo, ya que se centra en documentar y analizar los procedimientos de mantenimiento, las herramientas empleadas, las pruebas realizadas en la observación técnica y los resultados obtenidos en campo, sin manipular variables experimentales.

3.5.2. Procedimiento general del mantenimiento de equipos de anestesia

El mantenimiento de un dispositivo médico constituye un proceso fundamental en cualquier institución de salud, ya que garantiza el correcto funcionamiento del equipo y la seguridad del paciente. Los procedimientos de mantenimiento se establecen a partir de protocolos definidos por el fabricante y validados mediante pruebas técnicas y registros documentados.

El mantenimiento preventivo (MP) busca evitar fallas futuras y prolongar la vida útil del equipo mediante actividades periódicas planificadas. En cambio, el mantenimiento correctivo (MC) se realiza como respuesta a una falla o mal

funcionamiento y debe ejecutarse de manera oportuna, siguiendo los lineamientos técnicos establecidos.

Los principales beneficios del mantenimiento preventivo en un equipo de anestesia incluyen la reducción del tiempo de inactividad del equipo, la prevención de interrupciones quirúrgicas, el incremento de la seguridad del paciente y del personal clínico, la extensión de la vida útil del equipo y el cumplimiento de normativas internacionales.

3.5.3. Determinación del mantenimiento técnico del equipo de anestesia

El mantenimiento técnico de los equipos de anestesia se divide en mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, ambos orientados a asegurar la operatividad segura del equipo.

3.5.3.1. *Mantenimiento técnico preventivo*

El mantenimiento preventivo incluye actividades como limpieza interna y externa, calibración de sensores, pruebas de fugas, verificación de alarmas y pruebas eléctricas bajo la norma IEC 62353. Estas actividades permiten anticipar fallas, reducir riesgos clínicos y garantizar la confiabilidad del equipo.

Las pruebas críticas consideradas fueron:

- Fugas del sistema respiratorio (<150 mL/min).
- Resistencia de puesta a tierra ($\leq 0,3 \Omega$).
- Corriente de fuga ($\leq 500 \mu\text{A}$).
- Verificación de presión de gases y alarma de O_2 bajo.
- Prueba de autoverificación automática.

El protocolo de mantenimiento preventivo, elaborado a partir de los manuales técnicos del fabricante y de la experiencia profesional adquirida, permitió estandarizar una secuencia de actividades orientadas a garantizar la seguridad, confiabilidad y desempeño de los equipos de anestesia. Dichas actividades, junto con su periodicidad, instrumentos requeridos y criterios de aceptación (ver Tabla 2).

Tabla 2 Procedimiento para mantenimiento preventivo de máquina de anestesia

N°	Descripción de la actividad	Periodicidad	Instrumento	Resultado
1	Inspección física del equipo y sus componentes	Anual / Semestral	Ninguno	ok
2	Auto chequeo inicial del equipo	Diario	Ninguno	ok
3	Cambio de repuestos	Según manual	Ninguno	ok
4	Prueba de hermeticidad del analizador de gases	Anual / semestral	Manómetro digital	Ok
5	Prueba de concentración de analizador de gases	Anual / semestral	Analizador de gases	Ok
6	Prueba de fugas del ventilador	Anual / semestral	Manómetro digital	Ok
7	Limpieza general del equipo	Mensual	Detergente enzimático	Ok
8	Verificación de filtros de la trampa de agua	Diario	Ninguno	Ok
9	Cambio de trampa de agua	Mensual	Ninguno	Ok
10	Prueba de seguridad eléctrica	Anual / semestral	Analizador de seguridad eléctrica	Ok
11	Prueba de funcionamiento en modo ventilación	Anual / semestral	Manómetro digital	Ok
12	Verificación de funcionamiento del Monitor de funciones vitales (ECG, SpO ₂ , PANI)	Anual / Semestral	Simulador de ECG, simulador de SpO ₂ , manómetro digital	Ok
13	Verificación de funcionamiento del vaporizador	Anual / Semestral	Analizador de gases	Ok

Fuente. Elaboración propia.

3.5.3.2. Actividades del mantenimiento preventivo

A continuación, se describe las actividades ejecutadas durante el mantenimiento preventivo incluyeron:

- Inspección física del equipo y sus componentes: Se realiza la revisión externa del equipo y componentes, verificando que no se encuentren partes con rajaduras o dañadas.
- Autochequeo inicial del equipo: Se realiza el autochequeo del equipo, colocando de manera correcta el sistema de corrugados, línea de muestra, trampa de agua, canister, sensores de flujo para corroborar que el equipo se encuentre operativo.
- Cambio de repuestos: Se realiza el cambio de piezas de mantenimiento según el cuadro indicado por el fabricante, por ejemplo, en la máquina de anestesia modelo PRIMUS, se cambia las baterías (ver Figura 15).



Figura 15 Imagen de cambio de repuestos a una máquina de anestesia. Fuente Elaboración propia (fotografía).

- Prueba de hermeticidad de gases: Para esta prueba se necesita tener conectado la línea de muestra, trampa de agua y establecer el montaje de prueba (ver Figura 16).

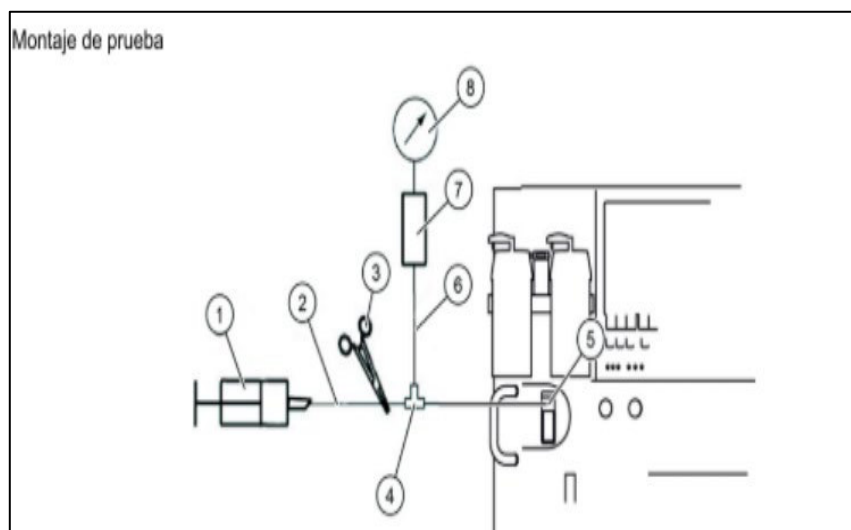


Figura 16 Montaje de prueba de hermeticidad de analizador de gases. Fuente. Tomado de Technical Service Manual: Perseus A500 (Dräger, 2023).

- Con el equipo apagado y después de haber establecido el montaje de prueba con la jeringa se debe generar una depresión de -200 mbar, morder con la tijera la manguera (2) e iniciar el cronómetro y como resultado la presión debe de subir como máximos 40 mbar a lo largo de 1 minuto.
- Prueba de concentración de analizador de gases: En la unidad de manejo, con aire ambiental el valor que se indica en "FiO₂" está dentro de la tolerancia de 18% a 24%. Conectar el conducto de gas de prueba en la boquilla de insuflación de oxígeno "Aux.O₂" a través una pieza en T (un lado de la pieza en T utilizada está abierto en el extremo) y abrir lentamente el caudalímetro de O₂, el valor indicado de O₂ está dentro de la tolerancia de 95% a 100%.
- Prueba de fugas del ventilador: Para esta prueba se necesita que el equipo esté apagado para armar el circuito de prueba (ver Figura 17).

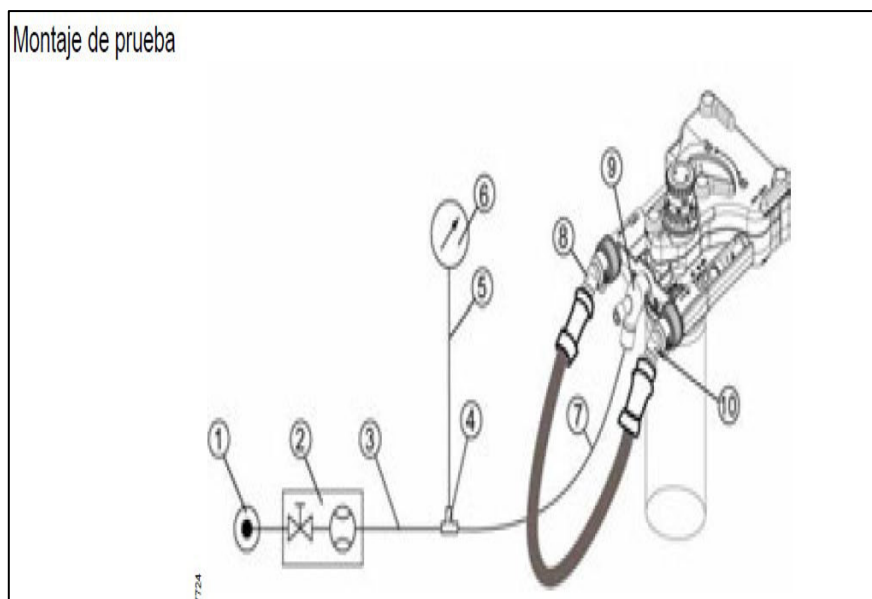


Figura 17 **Comprobación de fugas.** Fuente. Tomado de Technical Service Manual Perseus A500 (Dräger, 2023).

- Requisitos previos:
 - El aparato está conectado al sistema de suministro central.
 - La válvula APL (válvula reguladora de presión) está en la posición "MAN" y ajustada a la presión máxima.
 - El aparato está apagado.
- Con el caudalímetro (1), establecer una presión de 30 mbar en el manómetro digital (6), el flujo determinado (2) es igual o menor a 150 mL/min.
- Limpieza general del equipo: Se procede a realizar la limpieza externa del equipo, se retiran los filtros de polvo a las entrada de los Fan, para que con la ayuda de una brocha poder retirar el exceso de polvo acumulado, luego se utiliza un detergente enzimático que cumpla con los componentes permitidos por el manual de fabricante y se utiliza junto con un trapo industrial para realizar la limpieza externa del equipo y sus componentes, al final se utiliza un trapo seco para retirar los residuos de detergente que se hayan quedado sobre la superficie.

- Verificación de filtros de la trampa de agua: Se debe realizar la verificación de que los filtros de la trampa de agua no se encuentren hinchados o de una coloración azul, si estos se encuentran en buen estado, solo se debe retirar el agua del reservorio de la trampa de agua, caso contrario se debe cambiar la trampa de agua.
- Cambio de trampa de agua: Se coloca una trampa de agua nueva para poder usar el equipo evitando fallos en la medición del analizador de gases, cuando en la verificación de los filtros de la trampa de agua esta requiera el cambio o cuando la trampa de agua ya tiene un tiempo de uso de 30 días.
- Prueba de seguridad eléctrica: Para esta prueba se sigue la norma técnica IEC 62353, con la cual se tomarán los valores de resistencia de conductor de puesta a tierra y la corriente de fuga del aparato médico.
- Para la resistencia a tierra se debe verificar que el equipo y el aparato médico se encuentren apagados, luego establecer el montaje de prueba (ver Figura 18):

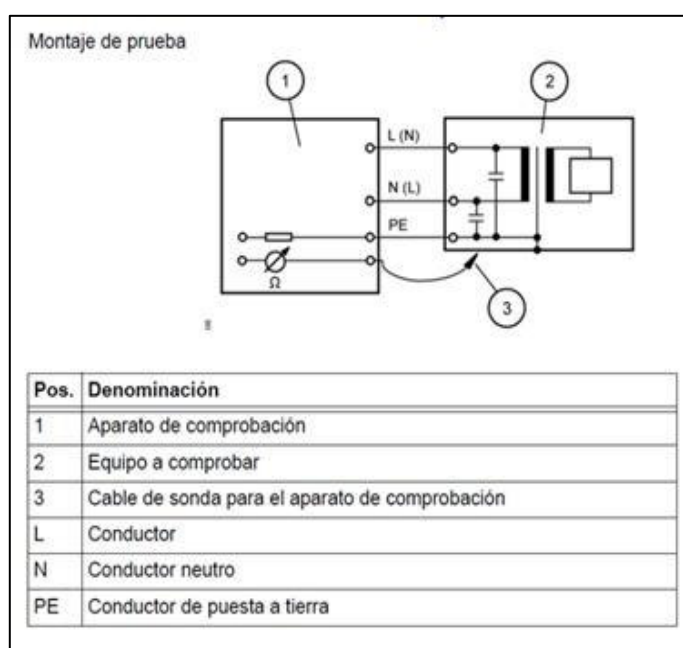


Figura 18 Montaje de prueba para seguridad eléctrica. Fuente. Tomado de Technical Service Manual: Perseus A500 (Dräger, 2023).

Luego se enciende el aparato de comprobación, se configura el aparato de comprobación como corresponda, con la punta de prueba del cable de la sonda, explorar uno tras otro los puntos de medición del equipo a comprobar, moviendo al hacerlo la línea de conexión a la red eléctrica en toda su longitud durante la medición. Con ello no debe modificarse la resistencia, el valor de la resistencia del conductor de puesta a tierra no debe superar en cada caso $0,3 \Omega$.

Para la corriente de fuga el aparato de comprobación sigue encendido y se continúa con las instrucciones del aparato y el valor de referencia y repetición de la corriente de fuga no debe superar los $500 \mu\text{A}$.

Si los valores obtenidos están dentro de lo permitido por la norma técnica IEC 62353, el dispositivo médico pasa la prueba.

Se puede visualizar el procedimiento de preventivo en el Anexo A.

3.5.3.3. *Mantenimiento técnico correctivo*

Un mantenimiento correctivo se realiza cuando el dispositivo médico presenta algún desperfecto en su funcionamiento, ya sea en el auto chequeo del equipo o durante el uso cotidiano del dispositivo.

- Se realizaron más de 100 intervenciones correctivas, de las cuales el 60% correspondió a fallas en sensores de flujo o presión.
- El tiempo promedio de reparación fue de 4 horas por equipo, incluyendo diagnóstico, reemplazo y calibración.
- En todos los casos se utilizaron repuestos originales Dräger, lo que aseguró la conformidad técnica del equipo tras la reparación.
- Luego de la intervención, los equipos pasaron satisfactoriamente las pruebas automáticas y manuales de desempeño.

Si bien cada falla requiere una intervención específica, es posible establecer una secuencia general de pasos para la correcta ejecución del mantenimiento correctivo. En ese sentido, se presentan los procedimientos a seguir (ver Tabla 3).

Tabla 3 Procedimientos para un mantenimiento correctivo

N°	Descripción de la actividad	Periodicidad	Instrumento	Resultado
1	Inspección física del equipo y sus componentes	Anual / Semestral	Ninguno	ok
2	Verificación del problema reportado	Anual / Semestral	Ninguno	ok
3	Autochequeo del equipo	Según manual	Ninguno	ok
4	Apertura del equipo	Anual / semestral	Herramientas manuales	ok
5	Cambio de repuestos requeridos para la corrección	Anual / semestral	Herramientas manuales	ok
6	Prueba de fugas del ventilador	Anual / semestral	Manómetro digital	ok
7	Limpieza general del equipo	Mensual	Detergente enzimático	ok
8	Verificación de filtros de la trampa de agua	Diario	Ninguno	ok
9	Cambio de trampa de agua	Mensual	Ninguno	ok
10	Prueba de seguridad eléctrica	Anual / semestral	Analizador de seguridad eléctrica	ok
11	Prueba de funcionamiento en modo ventilación	Anual / semestral	Manómetro digital	ok
12	Verificación de funcionamiento del Monitor de funciones vitales (ECG, SpO ₂ , PANI)	Anual / Semestral	Simulador de ECG, Simulador de SpO ₂ , Manómetro digital	ok
13	Verificación de funcionamiento del vaporizador	Anual / Semestral	Analizador de gases	ok

Fuente. Elaboración propia.

Para fines más prácticos, se detallan las fallas más comunes, y los pasos a seguir para determinar la causa de la falla técnica y las actividades a realizar para corregirla (ver Tabla 4).

Tabla 4 Fallas Comunes en máquina de anestesia

N°	Incidente reportado	Instrumento	Procedimiento	
			Diagnóstico de Falla	Acciones por realizar
1	Equipo no enciende	Multímetro	Falla de alimentación eléctrica: 1. Verificar que esté llegando la energía eléctrica (220 V) a la máquina de anestesia. 2. Descartar problema de cable de alimentación.	1. Indicar la falla de la alimentación eléctrica al usuario. 2. Cambiar el cable de poder.
			Falla de fusible: 1. Verificar el estado del fusible	1. Cambiar el fusible.
			Falla de fuente de alimentación: 1. Desmontar la fuente de alimentación. 2. Verificar el voltaje de entrada 220 V. 3. Verificar el voltaje de salida 12 V	1. Cambio de fuente de alimentación.
			Baterías descargadas: 1. Verificar el voltaje de las baterías(24 V)	1. Cambiar las baterías.
2	Equipo no pasa test de fugas	Circuito de paciente, bolsa de anestesia, trampa de agua y línea de muestra, desarmadores, alcohol isopropílico.	Fuga en las conexiones del sistema respiratorio. 1. Verificar que el circuito de paciente esté montado de manera correcta y en buen estado. 2. Verificar que la bolsa de anestesia no esté picada. 3. Verificar que la línea de muestreo esté conectada. 4. Verificar que el canister esté montado de manera correcta.	1. Cambiar el circuito de paciente. 2. Cambiar la bolsa de anestesia. 3. Conectar la línea de muestra. 4. Colocar el canister en la posición correcta o cambiar el canister.
			Sistema respiratorio sucio: 1. Desmontar el sistema respiratorio y realizar la limpieza	1. Desmontar el sistema respiratorio de la unidad de ventilación y con la ayuda de un desarmador quitar las válvulas antirretorno, sensores de flujo, membrana de la PEEP, boquillas de conexión, y sumergir los componentes en alcohol isopropílico por 30 min, luego dejarlo secar al ambiente y volver a realizar el ensamblaje y pasar el auto chequeo del equipo.
3	Fallo en la medición de O ₂	Línea de muestra, trampa	El equipo no muestra valor de O ₂ : 1. Verificar si la línea de muestra, trampa de agua	1. Verificar la conexión de la línea de muestra y trampa de agua y en caso no estén conectados, conectarlo de

	de agua, flujómetro digital	estén conectados al circuito de paciente. 2. Verificar el flujo de aspiración de la bomba del analizador de gases.	manera correcta. 2. Colocar el flujómetro digital a la entrada de la línea de muestra y el flujo de aspiración debe estar en el rango de 180 a 200 mL/min, en caso de no encontrarse regularlo.
		Sensor de O ₂ dañado: 1. Verificar que el sensor de O ₂ mida valores con un FiO ₂ de 100% de 95-100% 2. Sensor de Oxígeno dañado	1. Colocar la línea de muestra en la conexión a la bolsa de anestesia y presionar el botón de flush O ₂ +, el FiO ₂ monitorizado es mayor de 95%. 2. Cambiar el sensor de Oxígeno.
4	Equipo muestra valores de volumen total muy bajos	Circuito de paciente, bolsa de anestesia, pulmón de prueba Sensor de flujo defectuoso: 1. Calibrar sensor de flujo. 2. Sensor de flujo dañado.	1. Realizar el chequeo de fugas del equipo. 2. Cambiar los sensores de flujo.
		Trampa de agua obstruida: 1. Verificar la trampa de agua. 2. Trampa de agua dañada.	1. Verificar que la trampa de agua no tenga fugas. 2. Cambiar la trampa de agua.
5	El valor medido de CO ₂ es muy alto	Trampa de agua, línea de muestra, circuito de paciente y pulmón de prueba. Sensor de CO ₂ mide mal: 1. Verificar el flujo de succión de la bomba del analizador de gases. 2. El sensor de CO ₂ está dañado	1. Conectar el flujómetro digital con la ayuda de una manguera de silicona a la entrada de la trampa de agua y medir el flujo de aspiración, si este no se encuentra dentro de rango, regularlo. 2. Cambiar el sensor de CO ₂ por uno nuevo.

Fuente. Elaboración propia.

Se puede visualizar evidencias de mantenimientos correctivos en el Anexo B.

3.5.4. Instrumentos utilizados en el mantenimiento técnico

Para la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo se utilizaron instrumentos de medición biomédica certificados, indispensables para realizar pruebas de seguridad y funcionales en las máquinas de anestesia.

Los instrumentos empleados fueron:

- **Analizador de seguridad eléctrica:**

Es un dispositivo de medición que cuantifica valores de resistencia a tierra y corriente de fuga de un dispositivo médico, siguiendo la normativa IEC 62353,

la cual establece que un dispositivo médico debe arrojar un valor de resistencia a tierra menor a $0.3\ \Omega$ y una corriente de fuga menor igual a $500\ \mu\text{A}$ (ver Figura 19). El analizador de seguridad eléctrica se usa para medir la resistencia a tierra y corriente de fuga del dispositivo médico, cada vez que se realiza un mantenimiento preventivo o correctivo. A continuación, se aprecia las especificaciones técnicas (ver Tabla 5).

Tabla 5 Especificaciones técnicas analizador de seguridad electrica

Especificaciones técnicas	
Normativas	DIN VDE 0751-1, 0701-1/702, IEC/EN 62353, EN 60601, 60950, 61010
Corriente de prueba	200 mA estándar, opción de 10 A en variante PRO
Resistencia de aislamiento	Tensiones hasta 500 V según estándar
Métodos de medición de fugas	Directo, diferencial, alternativo (equivalente)
Protección automática	Desconexión en $>10\ \text{mA AC}$ ($\sim 500\text{ms}$), configurable a 30 mA

Fuente. Elaboración propia.



Figura 19 Analizador de seguridad eléctrica. Fuente. Elaboración propia (fotografía).

▪ **Manómetro digital:**

Es un instrumento electrónico que mide la presión de un gas o líquido y muestra el valor en la pantalla digital, con un rango máximo de 1 bar (ver Figura

20). El manómetro digital se usa para medir valores de presión en las pruebas de hermeticidad, funcionamiento de ventilación en una máquina de anestesia. A continuación, se aprecia las especificaciones técnicas (ver Tabla 6).

Tabla 6 Especificaciones técnicas manómetro digital de 1 bar

Especificaciones técnicas	
Rango de precisión	-1 bar hasta 1 bar
Precisión	$\pm 0,1\%$ FS (NLH&R)
Estabilidad Térmica	$\pm 0,02\%$ / °C (+ extra para ≤ 1 bar)
Funciones adicionales	Leak test, tare, zero

Fuente. Elaboración propia.



Figura 20 Manómetro digital. Fuente. Elaboración propia (fotografía).

▪ **Multímetro:**

Es una herramienta de medición eléctrica que permite medir magnitudes como voltaje, corriente eléctrica, resistencia eléctrica (ver Figura 21). El

multímetro se usa para diagnosticar fallos de componentes electrónicos en la máquina de anestesia A continuación, se aprecia las especificaciones técnicas (ver Tabla 7).

Tabla 7 Especificaciones técnicas del multímetro

Especificaciones técnicas	
Tensión DC	Hasta 1000 V (precisión $\pm 0,05\%$ + 3 dígitos).
Tensión AC	Hasta 1000 V (precisión $\pm 0,5\%$ + 3 dígitos).
Corriente DC	Hasta 10 A (precisión $\pm 0,5\%$ + 3 dígitos).
Corriente AC	Hasta 10 A (precisión $\pm 0,9\%$ + 3 dígitos).
Resistencia	Hasta 60 M Ω
Frecuencia	Hasta 10 MHz

Fuente. Elaboración propia.



Figura 21 Multímetro. Fuente. Elaboración propia (fotografía).

▪ **Flujómetro digital:**

Es un instrumento que mide la cantidad de flujo de un fluido (líquido o gas), que pasa por una tubería y muestra el valor en una pantalla digital, a

diferencia de un flujómetro analógico tiene mayor precisión y resolución (ver Figura 22). Este flujómetro se usa para detectar fallos en el analizador de gases de la máquina de anestesia, o para realizar las pruebas de estanquidad en el sistema respiratorio de una máquina de anestesia A continuación, se aprecia las especificaciones técnicas (ver Tabla 8).

Tabla 8 Especificaciones técnicas de un flujómetro digital

Especificaciones técnicas	
Rango de flujo	Hasta ± 30 Std L/min
Precisión	$\pm 2\%$ (opción $\pm 1.7\%$)
Respuesta	4 ms
Parámetros medidos	Flujo, presión, temperatura, volumen, + presión diferencial y humedad según modelo

Fuente. Elaboración propia.



Figura 22 Flujómetro digital. Fuente. Elaboración propia (fotografía).

▪ **Simulador multiparámetro:**

Es un equipo electrónico que simula las señales de diferentes tipos de sensores o instrumentos de medición para probar, calibrar o verificar el funcionamiento de monitores de signos vitales (ver Figura 23). Esto se puede utilizar para detectar problemas en la medición del parámetro ECG de un monitor de signos vitales que acompaña a la máquina de anestesia. A continuación, se aprecia las especificaciones técnicas (ver Tabla 9).

Tabla 9 Especificaciones técnicas de un simulador multiparámetro

Especificaciones técnicas	
Señales simuladas	ECG (49 arritmias), respiración, presión arterial, temperatura, SpO ₂ fetal/maternal, gasto cardíaco
Alimentación	Batería 9 V o fuente AC, alerta de batería baja
Control y visualización	Dos pantallas gráficas, menú de selección fácil, modo entrenamiento
Conexiones disponibles	10 electrodos, salida 1V, terminales Mini-DIN, RS-232

Fuente. Elaboración propia.

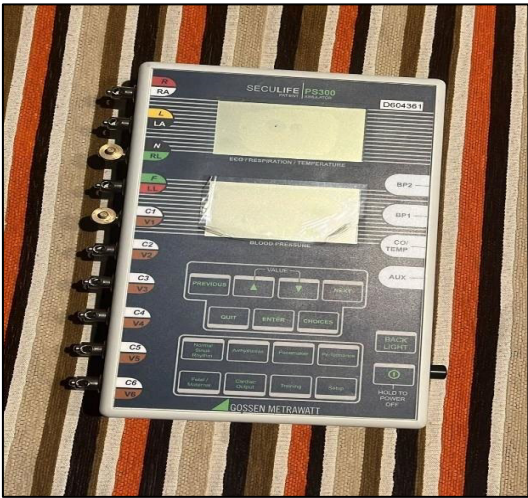


Figura 23 Simulador de ECG. Fuente. Elaboración propia (fotografía).

▪ **Simulador de SpO₂:**

Es un dispositivo electrónico que imita la señal óptica y eléctrica que genera un oxímetro de pulso cuando mide la saturación de oxígeno en sangre (ver Figura 24). Sirve principalmente para probar, calibrar y verificar el funcionamiento de oxímetros de pulso sin necesidad de un paciente real. Se usa para detectar problemas con la medición de saturación de oxígeno en un monitor de signos vitales, el cual acompaña a la máquina de anestesia. A continuación, se aprecia las especificaciones técnicas (ver Tabla 10).

Tabla 10 Especificaciones técnicas de un simulador de SpO₂

Especificaciones técnicas	
Tamaño	2.5" x 2.5" x 1.25"
Consumo de energía	Funciona con batería AA y también puede usarse con adaptador de corriente de 6 V DC (100 - 240 VAC)
Precisión	Saturación error igual o menor especificado del sensor (± 2 % en sensores desechables puede alcanzar el 3 %)
	Frecuencia cardiaca (HR) error menor a 1 BPM.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 24 Simulador de SPO₂ .Fuente. Elaboración propia (fotografía).

▪ **Analizador de gases anestésicos (Fluke Biomedical VT900A):**

Utilizado para la verificación de la concentración de oxígeno, dióxido de carbono y agentes anestésicos volátiles (sevoflurano, isoflurano, desflurano), así

como para la evaluación del desempeño de los vaporizadores y del sistema de entrega de gases durante el mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas de anestesia (ver Figura 25). A continuación, se aprecia las especificaciones técnicas (ver Tabla 11).

Tabla 11 Especificaciones técnicas del analizador de gases anestésicos

Especificaciones técnicas	
Tipo de medición	Flujo de gas, concentración de gases anestésicos (CO ₂ , N ₂ O, HAL, ISO, ENF, SEV, DES), presión y volumen
Tecnología de medición	Análisis NDIR (side stream)
Rango de presión ultra baja	0 a 10 mbar
Precisión de oxígeno	±1 %

Fuente. Elaboración propia.

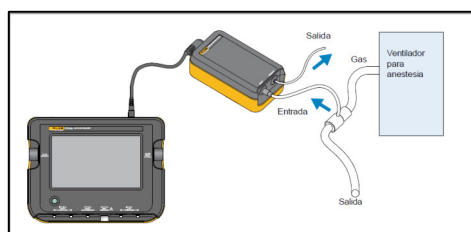


Figura 25 Analizador de gases anestésicos. Fuente. Tomado de Gas Flow Analyzer User Manual (Fluke Biomedical, 2018).

El uso de estos instrumentos garantiza la confiabilidad de las pruebas realizadas y la validez de los resultados obtenidos durante los mantenimientos.

3.5.5. Verificación del funcionamiento del equipo posterior al mantenimiento

3.5.5.1. Verificación del sistema de ventilación

En esta prueba se va a verificar el funcionamiento en el modo ventilación y de las alarmas ópticas.

- **Respiración manual:**

- El aparato está conectado con el suministro central de gas.
- El aparato está equipado al menos con un vaporizador de agente anestésico.
- El aparato ha superado la prueba del sistema y se encuentra en el modo "Stand by".
- Conectar el pulmón de prueba con la pieza en Y del sistema respiratorio.
- Conmutar el aparato al modo de funcionamiento "Man/Spont".
- Conmutar la válvula APL a "MAN".
- Ajustar el flujo de gas fresco a 8 L/minuto.
- Pulsar el botón de Flush de O₂, hasta que esté llena la bolsa de respiración manual.
- Comprobación: Presionando la bolsa de respiración manual se simula una respiración manual.

- **Respiración espontánea:** Conmutar la válvula APL a "SPONT" y Con el pulmón de prueba es posible una respiración espontánea.

- **Respiración controlada por volumen:**

- El aparato está equipado con un kit de tubos de adultos.
- No se utiliza ningún filtro.
- En la pieza en Y está conectado un pulmón de prueba.
- Conmutar el aparato al modo de respiración "Volumen Control".
- Ajustar los siguientes parámetros en la unidad de manejo:
- Flujo de Gas 2 L/min
- P_{máx} 40 mbar
- VT 550 mL
- FR 12/min

- Respiration rate = 20 respiraciones por minuto (rpm).
- Baseline = 500 Ω .
- Validaciones:
 - La curva y FC corresponden al simulador.
 - Símbolo del corazón parpadea y tono suena por cada QRS.
 - Lecturas de RESP y FC coinciden con el simulador.
 - Detección de marcapasos ≥ 1 mV.
 - Señal de asistolia genera curva plana y alarma roja.
 - Luego se restablece señal normal.
- Funcionamiento de alarmas
 - Se modifican límites para activar alarmas.
 - La alarma responde según configuración.
 - Botón “silenciar” detiene la alarma.

ii. **SpO₂**

- Sensor conectado al simulador en 85 % y 80 bpm.
- Lectura aceptable: $\pm 2\%$ y $\pm 3\%$ en frecuencia.

iii. **PANI.** Se tiene que establecer el montaje de prueba (ver Figura 26).

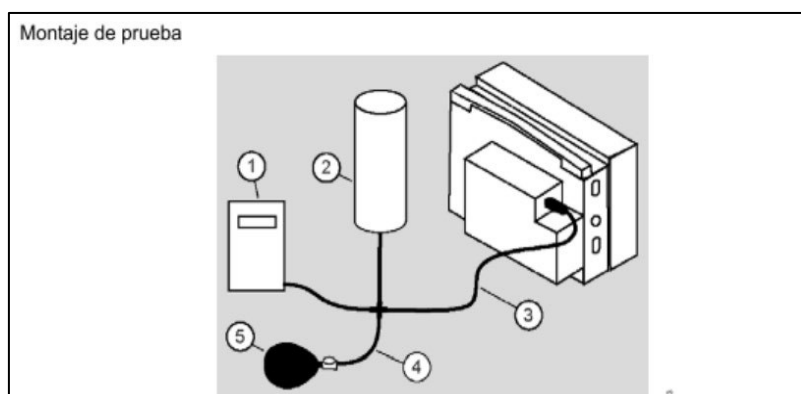


Figura 26 Montaje para prueba del PANI. Fuente. Tomado de Instrucción de Prueba / Service Card IPM Infinity Kappa (Dräger, 2008).

- En modo calibración, presión = 0 mmHg.

- Se genera 250 ± 5 mmHg.
- Pinzar tubo y estabilizar 1 minuto.
- Descenso permitido: < 2 mmHg en 5 minutos.

3.5.5.3. Verificación del funcionamiento del vaporizador

- Se verifican valores de concentración entregados por el vaporizador con un analizador de gases.
- Gas fresco: O_2 a 2.5 L/min.
- Rangos aceptados:
- 0.6% $\rightarrow$ 0.43 a 0.83 %
- 1% $\rightarrow$ 0.86 a 1.26 %
- 2% $\rightarrow$ 1.76 a 2.46 %
- 4% $\rightarrow$ 3.50 a 4.90 %
- 8% $\rightarrow$ 6.88 a 9.68 %
- Si el equipo pasa todo el protocolo de pruebas descrito, se encontrará operativo.

3.6. Resultado de la Actividad

Los resultados obtenidos permiten evidenciar la efectividad del mantenimiento técnico realizado en el equipo de anestesia, reflejándose en la mejora de su funcionamiento, seguridad y cumplimiento normativo.

3.6.1. Resultados del mantenimiento técnico del equipo de anestesia

El mantenimiento técnico aplicado a los equipos de anestesia comprendió intervenciones sobre los sistemas neumático, respiratorio, de monitoreo y eléctrico, conforme a los procedimientos establecidos por el fabricante y las normas técnicas vigentes.

Durante las pruebas de estanqueidad del sistema neumático y respiratorio se identificaron fugas en diversos puntos críticos del equipo, principalmente en:

- La unión entre el vaporizador y el manifold de gases frescos.
- La junta del absorbedor de CO₂.
- Las conexiones del circuito respiratorio reutilizable.

Previo a la intervención, algunos equipos presentaron fugas superiores a 150 mL/min, superando el límite recomendado por el fabricante. Las acciones de mantenimiento incluyeron el ajuste mecánico de conexiones, el reemplazo de juntas deterioradas y la verificación mediante flujómetro digital, permitiendo reducir las fugas a valores inferiores a los límites normativos.

Asimismo, el sistema de ventilación —ya sea por fuelle, pistón o blower, según el modelo— evidenció mejoras significativas tras la calibración del mecanismo impulsor y la limpieza de los conductos neumáticos, optimizando la estabilidad del ciclo ventilatorio.

3.6.2. Resultados obtenidos mediante el uso de instrumentos de medición

Para la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de anestesia se emplearon diversos instrumentos y dispositivos técnicos, indispensables para garantizar intervenciones seguras y precisas.

Entre los principales instrumentos utilizados se encuentran:

- Flujómetro digital para la medición de fugas en el sistema respiratorio.
- Analizador externo de gases para la verificación comparativa del módulo PGM.
- Equipos de medición eléctrica certificados para pruebas según la norma IEC 62353.
- Herramientas mecánicas de ajuste para conexiones neumáticas y eléctricas.

- Insumos técnicos como juntas, filtros y elementos de sellado.

Estos instrumentos permitieron identificar desviaciones funcionales, ejecutar los ajustes necesarios y validar técnicamente los resultados obtenidos tras el mantenimiento, asegurando la confiabilidad del proceso.

3.6.3. Verificación funcional y eléctrica del equipo de anestesia posterior al mantenimiento

La verificación del funcionamiento del equipo de anestesia se realizó mediante pruebas funcionales, neumáticas y eléctricas posteriores a la intervención técnica.

- **Verificación del módulo PGM**

El módulo PGM (Patient Gas Module) fue evaluado mediante métodos comparativos. Antes del mantenimiento se observaron:

- Diferencias superiores a ± 2 % en la medición de O_2 en equipos con celdas próximas al final de su vida útil.
- Lecturas inestables de CO_2 en módulos con filtros internos saturados.
- Atenuación en la señal de agentes anestésicos debido a suciedad en la cámara de análisis.

Tras la limpieza, calibración y reemplazo de componentes, los valores obtenidos se ajustaron a los rangos permitidos por el fabricante, garantizando mediciones confiables durante la ventilación del paciente.

- **Verificación eléctrica según IEC 62353**

Las pruebas eléctricas iniciales evidenciaron:

- Resistencia de puesta a tierra superior a $0,3 \Omega$ en equipos con cables deteriorados o conexiones flojas.
- Corrientes de fuga cercanas al límite de $500 \mu A$ en equipos sin mantenimiento reciente.

Luego del mantenimiento correctivo, los valores finales cumplieron con los criterios establecidos:

- Resistencia de tierra: $\leq 0,3 \Omega$
- Corriente de fuga: $\leq 500 \mu\text{A}$, en la mayoría de los equipos muy por debajo del límite

Estos resultados confirman el óptimo funcionamiento del equipo de anestesia, así como la seguridad del paciente y del personal clínico durante su operación.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo desarrolla la discusión de los resultados obtenidos durante la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo aplicadas a los equipos de anestesia, en el marco de la experiencia profesional realizada en la empresa Dräger Perú S.A.C. El análisis se encuentra alineado con los objetivos específicos del trabajo y considera la descripción de la implementación del mantenimiento técnico, así como su impacto operativo y económico en la gestión del equipamiento biomédico.

4.1. Descripción de la implementación

La implementación del mantenimiento técnico en los equipos de anestesia permitió identificar de manera sistemática fallas recurrentes que evidencian la necesidad de procedimientos estandarizados y ejecutados por personal especializado. Dichas fallas se presentaron principalmente en los sistemas neumático, electrónico y de monitoreo de gases, los cuales constituyen componentes críticos para la seguridad del paciente y el correcto funcionamiento del equipo durante los procedimientos quirúrgicos.

Durante el proceso de implementación se identificaron fallas neumáticas relacionadas con el deterioro de O-rings en válvulas proporcionales, fugas en el sistema de evacuación de gases anestésicos (AGS) y conectores incorrectamente ensamblados, producto de intervenciones previas realizadas sin seguir los lineamientos del fabricante. Estas deficiencias comprometían la estanqueidad del sistema y la adecuada administración de los gases anestésicos, incrementando el riesgo operativo en sala de operaciones.

Asimismo, se detectaron fallas electrónicas asociadas a errores de calibración en tarjetas VGC, lecturas intermitentes en sensores Hall del blower

en el modelo Perseus A500 y desplazamientos incorrectos del pistón debido al desgaste del husillo en equipos Primus. Estas condiciones afectaban la estabilidad del sistema de ventilación y la precisión del control volumétrico, parámetros fundamentales para garantizar una ventilación segura y confiable del paciente.

En relación con el sistema de monitoreo de gases (PGM), se identificaron celdas de oxígeno agotadas, filtros internos saturados y obstrucciones parciales del sistema de muestreo, lo que generaba lecturas imprecisas de los parámetros respiratorios y de los agentes anestésicos. La identificación oportuna de estas fallas permitió definir de manera integral el mantenimiento técnico requerido y aplicar procedimientos correctivos específicos utilizando repuestos originales del fabricante.

La implementación del mantenimiento preventivo y correctivo requirió el uso de instrumentos de medición, diagnóstico y ajuste debidamente certificados y calibrados, tales como analizadores de gases anestésicos, equipos para pruebas de seguridad eléctrica y herramientas mecánicas especializadas. El empleo de estos instrumentos permitió detectar desviaciones funcionales, ejecutar correcciones precisas y validar los resultados obtenidos, garantizando el cumplimiento de los requisitos establecidos por las normas internacionales IEC 60601, IEC 62353 e ISO 13485.

Posterior a la intervención técnica, se realizaron pruebas funcionales, neumáticas y eléctricas para verificar el correcto funcionamiento de los equipos de anestesia. Los resultados evidenciaron un impacto positivo significativo, reflejado en el incremento de la confiabilidad del sistema respiratorio y neumático, la reducción de fugas de gas, la mejora en la precisión de la mezcla de gases frescos y una mayor estabilidad en el monitoreo del módulo PGM. Asimismo, se logró el cumplimiento total de las pruebas de seguridad eléctrica y una disminución de fallas inesperadas durante los procedimientos quirúrgicos, contribuyendo a la continuidad operativa de la sala de operaciones y a la seguridad del paciente.

Como parte final de la implementación, se elaboraron registros documentales detallados para cada intervención realizada, en concordancia con

los lineamientos de la norma ISO 13485 y la Guía Técnica del Ministerio de Salud (MINSA, 2019). Estos registros incluyeron parámetros antes y después del mantenimiento, pruebas de seguridad eléctrica, fallas detectadas y corregidas, repuestos utilizados, identificación del personal responsable y fecha de intervención, fortaleciendo la trazabilidad del equipamiento y la gestión biomédica hospitalaria.

4.2. Evaluación Económica

La evaluación económica de la propuesta de mantenimiento del equipo de anestesia se desarrolló mediante la identificación y valoración de los costos y beneficios asociados, la elaboración del flujo de caja proyectado y la aplicación de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Relación Beneficio/Costo (B/C) y el Periodo de Recuperación (PRI), los cuales se detallan en los apartados siguientes, con el propósito de determinar su viabilidad y rentabilidad.

4.2.1. Identificación y valoración de costos

Los costos asociados a la implementación del mantenimiento comprenden la adquisición de repuestos, la mano de obra técnica especializada y la inversión en herramientas específicas para diagnóstico y calibración del equipo.

Considerando valores referenciales del mercado peruano, se estiman los siguientes costos:

- Repuestos y componentes (válvulas, sensores, módulo electrónico, sellos y mangueras especializadas): S/ 2,000 – S/ 3,900
- Mano de obra técnica especializada (8 a 10 horas de intervención): S/ 800 – S/ 1,400
- Herramientas especializadas para mantenimiento biomédico: S/ 5,000

El costo de herramientas corresponde a una inversión en activos con una vida útil estimada de cinco años. Por lo tanto, para efectos de la evaluación económica, se considera una depreciación lineal anual equivalente a S/ 1,000.

En base a valores promedio, se determina una inversión inicial imputable al proyecto (Año 0) de S/ 5,000, distribuida de la siguiente manera:

- Repuestos: S/ 2,900
- Mano de obra: S/ 1,100
- Depreciación anual de herramientas: S/ 1,000

4.2.2. Identificación y valoración de beneficios

Los beneficios económicos derivados de la propuesta incluyen:

- Reducción de fallas inesperadas.
- Disminución de gastos por reparaciones mayores.
- Continuidad operativa del servicio quirúrgico.
- Prolongación de la vida útil del equipo.
- Evitación de la adquisición de un nuevo equipo de anestesia.

En el mercado peruano, el costo de un equipo nuevo de anestesia oscila entre S/ 65,000 y S/ 120,000; para efectos comparativos se considera un valor conservador de S/ 80,000.

Asimismo, se estima un ahorro anual promedio de S/ 6,000, derivado de la reducción de fallas, menor necesidad de reparaciones mayores y disminución de tiempos de inoperatividad.

4.2.3. Flujo de caja proyectado

Se considera un horizonte de evaluación de tres años y una tasa de descuento del 10% anual.

Tabla 12 Flujo de caja proyectado

Año	Flujo de Caja (S/)
0	– 5,000
1	+ 6,000
2	+ 6,000
3	+ 6,000

Fuente. Elaboración propia

4.2.4. Indicadores económicos

A partir del flujo proyectado se obtienen los siguientes resultados:

- **Valor Actual Neto (VAN):** aproximadamente S/ 9,000
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** aproximadamente 55%
- **Relación Beneficio/Costo (B/C):** 2.8
- **Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI):** 0.83 años

Los resultados evidencian que el VAN es positivo, la TIR supera ampliamente la tasa de descuento considerada y la relación B/C es mayor a 1, lo cual confirma que los beneficios generados superan la inversión realizada. Asimismo, el periodo de recuperación menor a un año demuestra una rápida recuperación del capital invertido.

4.2.5. Análisis de sensibilidad

Se evaluaron escenarios conservadores considerando una reducción del beneficio anual a S/ 4,000 o un incremento en los costos de repuestos. En ambos casos, los indicadores financieros se mantienen positivos, evidenciando que la propuesta conserva su viabilidad económica incluso ante variaciones desfavorables.

4.2.6. Conclusión de la evaluación económica

La implementación del mantenimiento del equipo de anestesia representa una inversión económicamente rentable y sostenible. La baja inversión inicial en comparación con el costo de adquisición de un nuevo equipo, sumada a la rápida recuperación del capital y los beneficios acumulados en el horizonte de evaluación, confirma que la propuesta constituye una alternativa eficiente para la gestión tecnológica hospitalaria.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

El presente capítulo expone las conclusiones derivadas de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo realizadas a un equipo de anestesia durante la experiencia profesional desarrollada en Dräger Perú S.A.C. Las conclusiones se presentan en función del objetivo general del informe y de los resultados obtenidos tras la intervención técnica realizada.

Se determinó que el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de anestesia constituye un proceso esencial para garantizar la seguridad del paciente, la continuidad de las intervenciones quirúrgicas y la eficiencia del sistema hospitalario. La aplicación de protocolos técnicos estandarizados permitió asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos, reduciendo de manera significativa la probabilidad de fallas y el tiempo de inactividad.

Se identificaron de manera precisa los instrumentos necesarios para la ejecución adecuada del mantenimiento técnico de los equipos de anestesia, entre los que destacan el analizador de gases, el manómetro digital, el simulador de paciente, el simulador de SpO₂, el multímetro y el flujómetro digital. El uso sistemático de estas herramientas permitió obtener mediciones confiables durante las pruebas de hermeticidad, ventilación, oxigenación, desempeño del vaporizador y seguridad eléctrica, lo que confirma que los instrumentos seleccionados fueron adecuados para asegurar la calidad técnica y la correcta ejecución de las intervenciones realizadas.

Se verificó el óptimo funcionamiento de los equipos de anestesia una vez culminadas las actividades de mantenimiento técnico, mediante la ejecución de pruebas funcionales, neumáticas, eléctricas y de seguridad clínica, de acuerdo con los criterios del fabricante y las normas internacionales IEC 60601 e IEC 62353. Los resultados obtenidos demostraron que los equipos operaron dentro de los parámetros establecidos de presión, flujo, ventilación y entrega de agentes

anestésicos, sin presentar alarmas críticas ni desviaciones funcionales, confirmando que quedaron en condiciones seguras y confiables para su uso en sala de operaciones.

Finalmente, la experiencia profesional permitió aplicar los conocimientos de ingeniería electrónica en el ámbito hospitalario, evidenciando la importancia del mantenimiento técnico adecuado, el uso de instrumentos certificados y el cumplimiento de normas técnicas internacionales para asegurar la confiabilidad, seguridad y operatividad de los equipos médicos críticos utilizados en procedimientos quirúrgicos.

CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos durante las actividades de mantenimiento técnico realizadas al equipo de anestesia, se recomienda asegurar la aplicación sistemática de los procedimientos preventivos y correctivos establecidos por el fabricante y las normas técnicas vigentes, con la finalidad de mantener condiciones adecuadas de seguridad, confiabilidad y operatividad en el entorno quirúrgico.

Se recomienda aplicar de manera sistemática y continua el procedimiento estandarizado de mantenimiento técnico preventivo y correctivo del equipo de anestesia, considerando su actualización periódica en función de las observaciones identificadas durante las intervenciones técnicas y de las modificaciones introducidas en los manuales del fabricante. Asimismo, se sugiere implementar un registro técnico estructurado que permita documentar las actividades realizadas, los hallazgos detectados y las acciones correctivas aplicadas.

Se recomienda garantizar la calibración periódica, el correcto almacenamiento y la disponibilidad permanente de los instrumentos indispensables para el mantenimiento técnico del equipo de anestesia, tales como el analizador de gases anestésicos, el simulador de paciente, el simulador de SpO₂, el multímetro, el manómetro digital, el flujómetro y los analizadores de seguridad eléctrica, a fin de asegurar la confiabilidad de las mediciones realizadas.

Finalmente, se recomienda establecer un proceso formal de verificación funcional posterior a cada intervención de mantenimiento técnico, el cual debe contemplar la ejecución de pruebas neumáticas, eléctricas, funcionales y de seguridad clínica, de acuerdo con los criterios del fabricante y las normas técnicas vigentes. Dicho proceso debe incluir el registro documentado de los

resultados obtenidos, con el propósito de asegurar que el equipo de anestesia se mantenga operativo, seguro y apto para su uso continuo en sala de operaciones.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- Adbel-Ghany, N., Abd El-Rahman, H., y El-Bardisy, N. (2020). Improving the reliability of anesthesia machines through preventive maintenance programs. *Journal of Clinical Engineering*, 45(2), 85–92.
- Aguirre, G. (2018). Gestión del mantenimiento hospitalario en áreas críticas. *Revista Ingeniería Biomédica*, 12(2), 45–53.
- Al-Bahadili, H. (2019). *Biomedical Equipment Maintenance Management*. CRC Press.
- Alvarado, P. (2020). *Implementación de protocolos de mantenimiento para dispositivos médicos de soporte vital*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Antioquia].
- American Society for Testing and Materials. (2019). ASTM F1462-19: *Standard Practice for Clinical Engineering Program Requirements*. ASTM International.
- Asociación Peruana de Ingeniería Clínica. (2021). *Guía práctica para mantenimiento de equipos biomédicos*. APIC.
- Barf, C. (2019). Improving performance of hospital maintenance systems. *Journal of Healthcare Engineering*, 8(1), 1–12.
- Barragán, L. (2017). Evaluación de la seguridad eléctrica en equipos médicos según IEC 62353. *Revista Electromédica*, 14(3), 22–32.
- Bian, X. (2019). Development of predictive maintenance models in healthcare equipment. *Biomedical Engineering Letters*, 9(4), 455–466.

- BioMed Central. (2018). Maintenance strategies in anesthesia equipment: A systemic review. *BMC Medical Engineering*, 18(1), 1–10.
- Cabrera, J., y Rodríguez, M. (2018). Normativas internacionales aplicables a equipos electromédicos. *Revista Técnica de Ingeniería Clínica*, 6(1), 34–45.
- CEN. (2018). EN ISO 80601-2-13: Particular requirements for anesthetic workstations. Comité Europeo de Normalización.
- Cuecuecha, S. (2010). Administración y optimización de quirófanos. *Revista Salud y Tecnología*, 5(3), 112–120.
- Dorsch, J., y Dorsch, S. (2012). *Understanding Anesthesia Equipment (5th ed.)*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Dräger. (2023). *Technical Service Manual – Perseus A500*.
- Dräger. (2022). *Primus Technical Service Manual*.
- Dräger. (2008). *Instrucción de prueba / Service card IPM Infinity Kappa*.
- ECRI Institute. (2022). Top 10 Health Technology Hazards. ECRI.
- Fennigkoh, L., y Smith, B. (1989). Clinical equipment management: Developing an acuity-based classification system. *Journal of Clinical Engineering*, 14(3), 255–268.
- Figuerola, J. (2020). Mantenimiento de equipos biomédicos en hospitales públicos del Perú. *Revista Peruana de Ingeniería Clínica*, 4(1), 54–63.
- Fluke Biomedical. (2018). *Gas Flow Analyzer user manual*.
- García, A. (2017). *Cirugía: Educación quirúrgica (6.ª ed.)*. McGraw-Hill Interamericana.

- García, D. (2012). *Planificación del mantenimiento preventivo en equipos de soporte vital*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Colombia].
- García, R., y Torres, M. (2015). Reliability analysis of electromedical devices in critical areas. *International Journal of Clinical Engineering*, 7(2), 98–107.
- GE Healthcare. (2021). *Aisys CS2 Technical Reference Manual*.
- Goneppanavar, U. (2013). Anaesthesia machine: Checklist, hazards, scavenging. *Indian Journal of Anaesthesia*, 57(5), 533–540.
- Gonzales, L. (2021). *Evaluación de fallas en máquinas de anestesia en unidades quirúrgicas*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- IEC. (2015). IEC 60601-1: Medical electrical equipment – General requirements for basic safety and essential performance. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2014). IEC 62353: Medical electrical equipment – Recurrent test and test after repair. IEC.
- ISO. (2016). ISO 13485: Medical Devices – Quality Management Systems. International Organization for Standardization.
- ISO. (2018). ISO 31000: Risk Management – Guidelines. ISO.
- ISO. (2019). ISO 7396-1: Medical gas pipeline systems – Part 1: Pipeline systems for compressed medical gases and vacuum. ISO.
- López, A. (2020). *Gestión de mantenimiento en equipos de anestesia en hospitales de nivel III*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villarreal].
- Miller, R. (2020). *Miller's Anesthesia (9th ed.)*. Elsevier.

- MINSA. (2019). *Guía técnica para el mantenimiento de equipos biomédicos en el Perú*. Ministerio de Salud.
- Morataya, J. (2012). *Producción más limpia en el proceso de climatización de quirófanos*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Guatemala].
- Muñoz, A. (2008). *Manual de protocolos de mantenimiento de equipos biomédicos*. [Tesis de licenciatura, Universidad del Valle].
- Orrego, S. (2022). *Gestión administrativa y procedimientos de mantenimiento de equipos biomédicos*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Palian, T. (2023). Intervenciones técnicas en equipos de anestesia: análisis de fallas recurrentes. *Journal of Clinical Engineering Latin America*, 12(1), 28–39.
- Palomino, R. (2019). *Plan de mantenimiento para equipos críticos biomédicos*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Cayetano Heredia].
- Pérez, L. (2018). Análisis de riesgo en equipos biomédicos de ventilación y anestesia. *Revista Ingeniería Hospitalaria*, 3(2), 50–60.
- Philips Healthcare. (2020). *Respironics Gas Module Service Manual*.
- Rodríguez, H. (2010). Gestión del mantenimiento preventivo hospitalario. *Revista Ingeniería Biomédica*, 8(1), 33–45.
- Rodríguez, R. (2021). Evaluación de desempeño en vaporizadores de sevoflurano en quirófanos. *Revista de Anestesiología*, 14(3), 122–132.
- Ruiz, P. (2017). Guía técnica para evaluación de sistemas neumáticos en equipos de anestesia. *Revista de Ingeniería Clínica*, 9(1), 10–19.

- Salazar, J. (2020). Improving the reliability of medical gas delivery systems. *Medical Engineering Review*, 7(3), 102–114.
- Smith, J. (2020). Electrical safety in anesthesia workstations. *Journal of Anesthesia Technology*, 32(4), 210–220.
- Taghipour, S., y Banjevic, D. (2011). Optimal preventive maintenance of medical equipment. *Journal of the Operational Research Society*, 64(4), 559–573.
- Tavares, L. (2000). *Administración moderna del mantenimiento*. McGraw-Hill.
- Torres, A., y Méndez, C. (2019). Auditoría técnica de mantenimiento en equipos de anestesia. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Clínica*, 5(2), 88–96.
- University of Toronto. (2020). *Maintenance protocols for anesthesia delivery systems: A technical guide*. Department of Biomedical Engineering.
- Venkatesh, J. (2005). *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. McGraw-Hill.
- World Health Organization (2011). *Medical Equipment Maintenance Programme Overview*. WHO Press.
- World Health Organization (2020). *Guidelines on medical device maintenance in low-resource settings*.
- Yesid, M. (2021). *Sistema de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos biomédicos*. [Tesis de licenciatura, Universidad Industrial de Santander].
- Zamzam, H., Khaled, M., y Sorour, A. (2021). *Medical equipment reliability and parameters used to assess equipment condition*. *Biomedical Research International*, 2021, 1–12.

Zapata, D., y Mejía, C. (2017). Evaluación de concentraciones de agentes anestésicos en máquinas de vaporización. *Revista de Anestesia y Tecnología*, 6(1), 14–22.

Zhong, Y. (2018). Predictive maintenance in anesthesia workstations. *Journal of Medical Devices*, 12(2), 021009.

CAPÍTULO VIII ANEXOS

ANEXO A: Registro fotográfico del mantenimiento preventivo



Figura A 1 **Revision física del equipo y preparación para mantenimiento preventivo.** Fuente. Elaboración propia (fotografía)

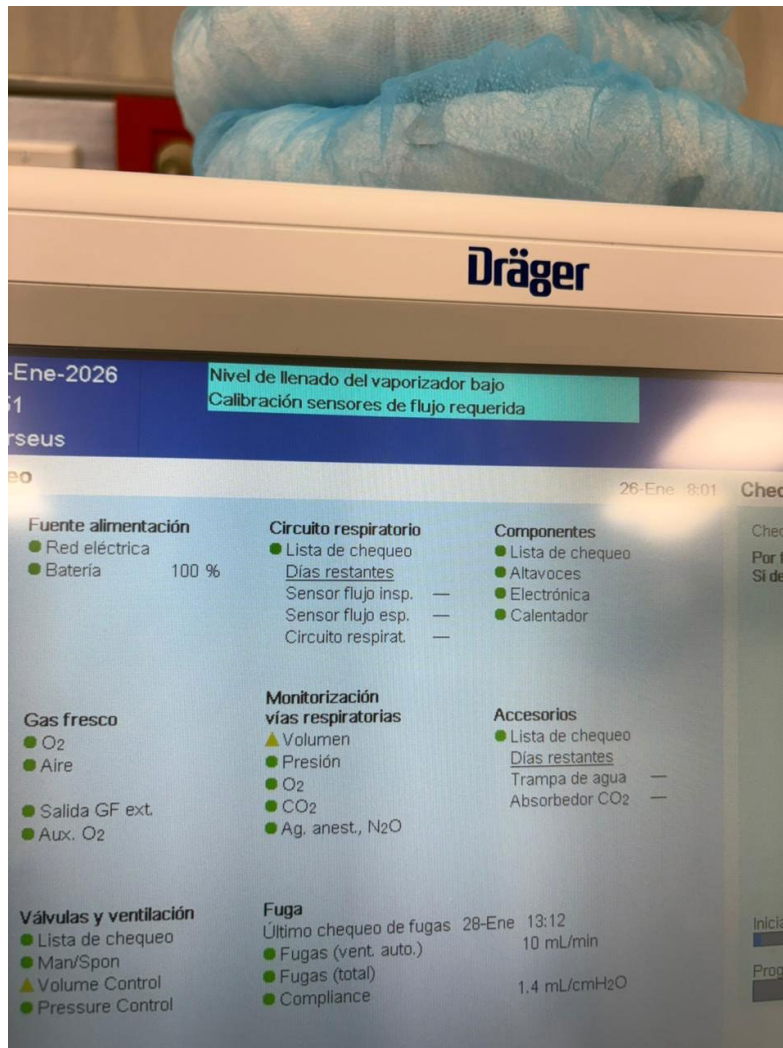


Figura A 2 Imagen de Autochequeo inicial del equipo. Fuente. Elaboración propia (fotografía)



Figura A 3 Cambio de repuestos. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura A 4 Prueba del analizador de Gases. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura A 5 Prueba de fugas del ventilador. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura A 6 Limpieza general del equipo. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura A 7 Verificación y cambio de trampa de agua. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)

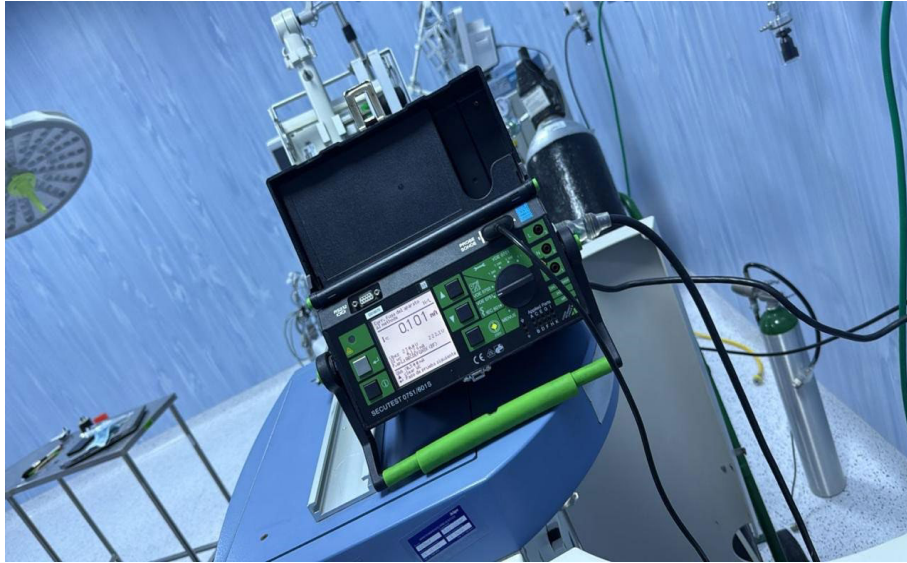


Figura A 8 Resultado de prueba de Seguridad Eléctrica. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura A 9 Prueba de funcionamiento en modo ventilación. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)

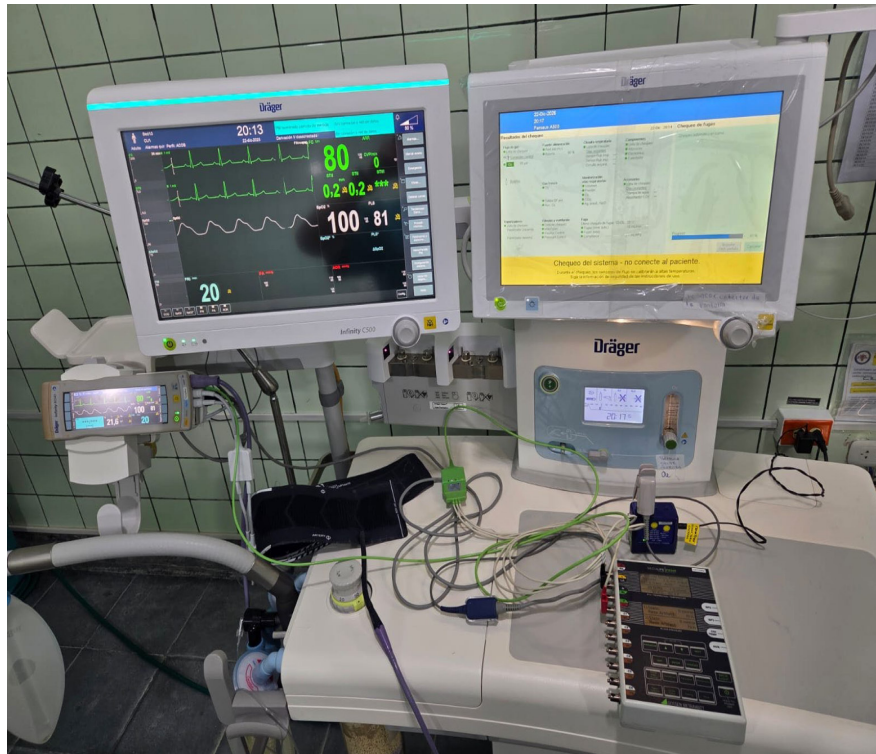


Figura A 10 Verificación del monitor de signos vitales con simuladores. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)

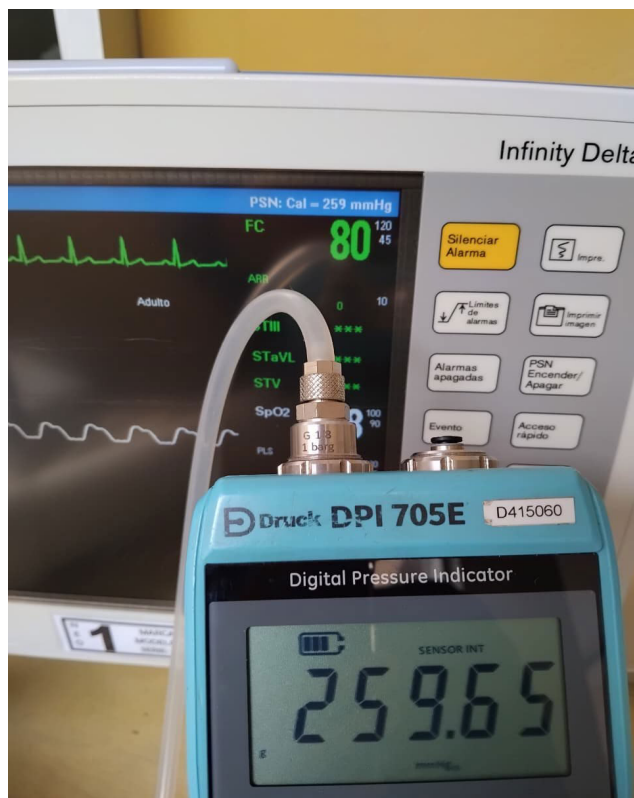


Figura A 11 Verificación de prueba del PANI del monitor de signos vitales. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura A 12 Verificación del vaporizador. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)

ANEXO B: Registro fotográfico de mantenimiento correctivo

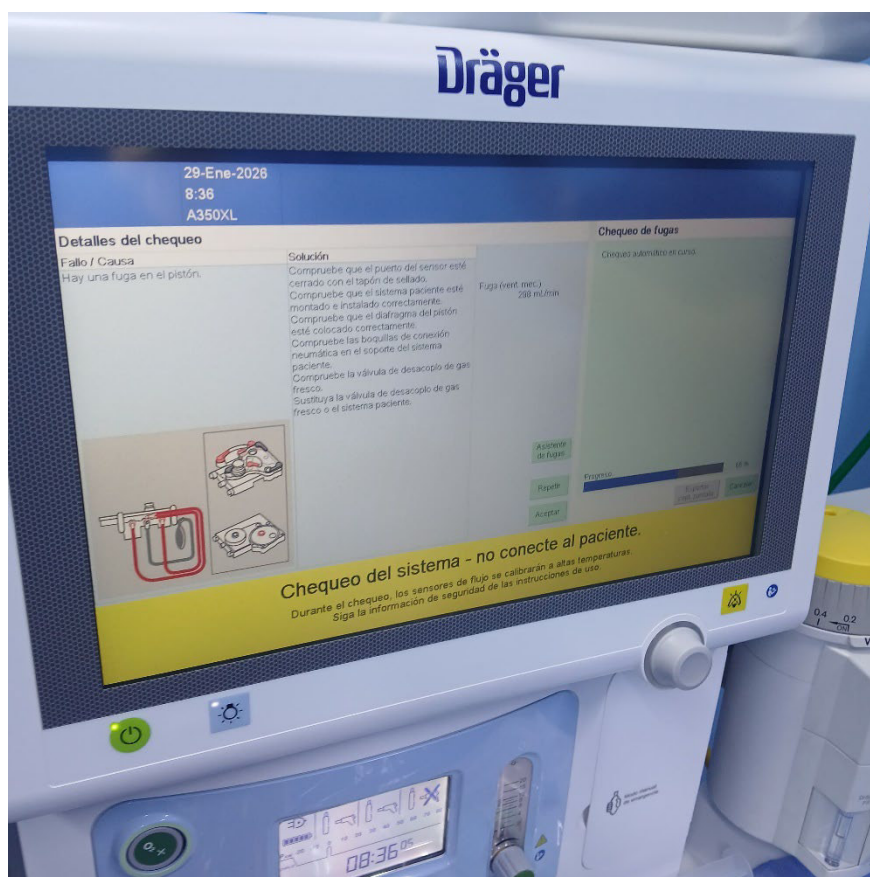


Figura B 1 Imagen de falla durante el chequeo. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura B 2 Corrección de falla de analizador de gases. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura B 3 Apertura del sistema respiratorio para verificación de fugas. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)



Figura B 4 Chequeo del equipo correcto después de intervención correctiva. Fuente. Elaboración propia (Fotografía)