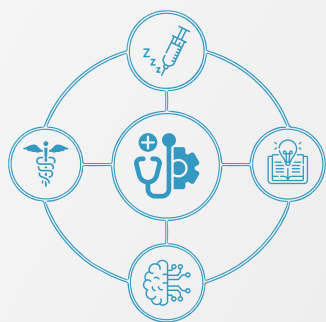




Diseño y manufactura de un
BANCO DIDÁCTICO DE ANESTESIA:
*Estrategias metodológicas para la formación
en mantenimiento de equipos médicos*

DESIGN AND MANUFACTURING OF AN ANESTHESIA DIDACTIC BENCH:
METHODOLOGICAL STRATEGIES FOR TRAINING IN MEDICAL EQUIPMENT MAINTENANCE

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



1. Resumen

El proyecto se enfoca en el diseño y desarrollo de un equipo de anestesia didáctico con el objetivo de mejorar la formación en el área de mantenimiento de equipos biomédicos, específicamente en anestesiología. Los procedimientos quirúrgicos que requieren sedación total del paciente son controlados por máquinas de anestesia general, cuya operación y mantenimiento demandan un alto grado de responsabilidad tanto del anestesiólogo como del técnico encargado de su inspección y mantenimiento diario. Actualmente, muchos de los equipos utilizados para la enseñanza en el campo de la salud carecen de un enfoque pedagógico-didáctico, lo que dificulta la comprensión de los sistemas complejos involucrados.

El equipo didáctico incluye una serie de sistemas interrelacionados que reflejan los componentes de una máquina de anestesia real, como fuentes de gases medicinales, eliminadores de CO₂, paneles de suministro de anestésicos, sistemas de inhalación y exhalación, sistemas de barrido de gases, y sistemas neumáticos con válvulas y alarmas. Estos componentes son esenciales para la enseñanza efectiva del manejo y mantenimiento de las máquinas de anestesia. Además, el proyecto también subraya la importancia del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos biomédicos, conforme a las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Palabras Clave: Equipo de anestesia didáctico, formación en mantenimiento, aprendizaje práctico y teórico, procedimientos quirúrgicos, mantenimiento preventivo y correctivo, OMS.

1.1. Abstract

The project focuses on the design and development of a didactic anesthesia equipment with the objective of improving training in the area of biomedical equipment maintenance, specifically in anesthesiology. Surgical procedures that require total sedation of the patient are controlled by general anesthesia machines, whose operation and maintenance demand a high degree of responsibility from both the anesthesiologist and the technician in charge of their daily inspection and maintenance. Currently, much of the equipment used for teaching in the healthcare field lacks a pedagogical-didactic approach, making it difficult to understand the complex systems involved.

Didactic equipment includes a number of interrelated systems that mirror the components of an actual anesthesia machine, such as medical gas sources, CO₂ eliminators, anesthetic delivery panels, inhalation and exhalation systems, gas sweep systems, and pneumatic systems with valves and alarms. These components are essential for the effective teaching of anesthesia machine operation and maintenance. In addition, the project also emphasizes the importance of preventive and corrective maintenance of biomedical equipment in accordance with World Health Organization (WHO) guidelines.

Keywords: didactic anesthesia equipment, maintenance training, practical and theoretical learning, surgical procedures, preventive and corrective maintenance, WHO.

2. Introducción

Un procedimiento quirúrgico que requiera la sedación total del paciente es controlado por una máquina de anestesia general, su manejo y mantenimiento exige un alto grado de responsabilidad, por parte del anestesiólogo y del técnico encargado de la inspección diaria y el mantenimiento de la misma.

El diseño de un equipo de anestesia didáctico representa un avance significativo en el ámbito de la formación en mantenimiento

de equipo biomédico, proporcionando una herramienta de soporte educativo que facilita el aprendizaje de los estudiantes y profesionales. En la actualidad, la mayoría de los equipos utilizados para la enseñanza en el campo de la salud en el país carecen de un enfoque pedagógico-didáctico, lo que dificulta la comprensión profunda de los complejos sistemas involucrados, especialmente en áreas críticas como la anestesiología. Las máquinas de anestesia, por ejemplo, son equipos altamente sofisticados que requieren un manejo preciso de los procesos de adquisición, regulación y dosificación de anestésicos para garantizar la seguridad del paciente durante procedimientos quirúrgicos.

El desarrollo de una máquina de anestesia con un diseño didáctico tiene como objetivo central facilitar el proceso de aprendizaje en la operación y mantenimiento de estos dispositivos, integrando principios de mecánica, ingeniería y neumática. Este enfoque interdisciplinario no solo mejora la comprensión teórica, sino que también proporciona una experiencia práctica más accesible y comprensible para los estudiantes. La precisión de la máquina es fundamental, ya que su propósito principal es garantizar la administración de una cantidad exacta de gas anestésico, asegurando su correcta dosificación y absorción pulmonar para mantener la seguridad del paciente.

El diseño didáctico de esta máquina de anestesia incluye múltiples sistemas interrelacionados que reflejan los componentes de un equipo de anestesia real. Estos sistemas incluyen: una fuente de gases medicinales (O₂, N₂O y aire), un eliminador de CO₂, un panel de suministro de agentes anestésicos, un sistema de inhalación y exhalación, un sistema de barrido de gases y suministro de oxígeno rápido, un sistema neumático con válvulas, un dosificador de O₂, N₂O y aire, un sistema de alarmas, y una salida para el exceso de gases en la vía aérea.

Es importante destacar que los gases medicinales utilizados en anestesia, como el O₂ y el aire, son esenciales en la mayoría de los procedimientos, mientras que el N₂O, aunque

comúnmente utilizado, debe ser manejado con precaución, especialmente en cirugías extensas o en cuidados intensivos debido a sus posibles efectos adversos.

Desde una perspectiva metodológica, el proyecto implica un análisis exhaustivo del funcionamiento del sistema de anestesia, el diseño de sus elementos mediante software especializado como SolidWorks, la disposición adecuada de estos elementos y su montaje. Como resultado, se obtiene no solo un manual de operaciones detallado para la máquina de anestesia, sino también un diseño y simulación completos de los componentes, proporcionando así una herramienta didáctica integral que mejora la calidad de la formación en el área de biomedicina.

Este proyecto no solo busca mejorar la formación mediante la creación de equipos más accesibles y fáciles de entender, sino también preparar mejor a los futuros profesionales de la salud para manejar con competencia y seguridad los complejos dispositivos médicos que encontrarán en su práctica clínica. En este sentido, el desarrollo de un equipo de anestesia didáctico es una innovación que contribuye al fortalecimiento del proceso educativo y, por ende, a la mejora de la atención médica en general.

La organización mundial de la salud (2012) define el equipo biomédico como “dispositivo médico que exige calibración, mantenimiento, reparación, capacitación del usuario y desmantelamiento, actividades que por lo general están a cargo de ingenieros clínicos”. (Health Organization, 2012, p. 10). Cada uno de estos equipos biomédicos deben estar vinculados a un plan de mantenimiento anual hospitalario capaz de garantizar el buen funcionamiento de cada uno de los servicios hospitalarios, la dependencia de estos equipos sobre la vida humana permite caracterizar estos bienes como dispositivos de efecto directo. Según la OMS (2012) “el mantenimiento de los equipos médicos se puede dividir en dos principales categorías: inspección y mantenimiento preventivo (IMP) y mantenimiento correctivo (MC)” (Health Organization, 2012, p. 14).

3. Materiales

Para el desarrollo del equipo de anestesia didáctico, se utilizaron los siguientes materiales y recursos:

3.1. Software de Diseño y Simulación.

SolidWorks: Para el diseño y modelado tridimensional de todos los componentes del equipo de anestesia. Este software permitió la creación de prototipos virtuales detallados, facilitando el análisis y optimización de los elementos antes de la fabricación.

3.2. Componentes Mecánicos y Neumáticos.

Válvulas antirretorno: Utilizadas para asegurar el flujo unidireccional de gases, evitando la mezcla de gases exhalados con los frescos.

Distribuidores regulados: componentes clave para controlar la presión y flujo de gases medicinales hacia el paciente.

Reguladores de segunda etapa: Dispositivos que ajustan la presión de los gases a niveles seguros y precisos antes de su administración al paciente.

Válvulas normal/abierta y cerrada: Para la gestión del flujo de gases en diferentes secciones del equipo.

Manómetros: Instrumentos para medir y visualizar la presión de los gases en diferentes puntos del sistema.

3.3. Componentes Electrónicos.

Sensores de presión y flujo: Para monitorear continuamente los parámetros de los gases medicinales durante su circulación por el equipo.

PLC siemens: Para la automatización y control de los sistemas neumáticos y de alarmas.

Pantalla LCD: Para la visualización de los datos críticos como presiones, concentraciones de gases, y alertas del sistema.

3.4. Materiales de Fabricación.

Aluminio y Acero Inoxidable: Seleccionados por su durabilidad, resistencia a la corrosión, y facilidad de manipulación durante la fabricación de los componentes mecánicos.

Polímeros de Grado Médico: Utilizados en partes del sistema que entran en contacto directo con gases medicinales, garantizando la biocompatibilidad y la seguridad del paciente.

A continuación, se relacionan las tablas que describen los elementos que se plantean para desarrollo de la máquina de anestesia

Tabla 1.
Componentes electrónicos

Cantidad Requerida	Elemento	Característica
1	PLC S7-1200	1214C dc/dc/dc
1	Módulo de expansión para PLC siemens S7-1200 1214C 6ES7 214-1AG40-0XB0	4 in analógicas, 2 output analógicas
1	Pantalla siemens	Confort HMI 12" TP 1200 Confort
1	Brazo suspendido	Brazo suspendido para pantalla confort 12" TP 1200
2	Válvulas proporcionales reguladoras de presión VPPE con display	0 ... 10V Margen de regulación de la presión 0,06 ... 6 bar N° de artículo: 557772 Tipo: VPPE-3-1/8-6-010-E1 (Comandadas con salidas analógicas) Conector tipo recto zócalo para control del VPPE
3	Transductores de presión	0 a 10 bares

Cantidad Requerida	Elemento	Característica
5	Electroválvulas 2/2 vías de accionamiento eléctrico	0 ... 60 psi, conmutación 0 a 24 Vdc (modulo que contenga 2 válvulas)
3	Flujómetros digitales	10 l/m, 12 l/m, 15 l/m
3	Sensores de caudal STAII	Unidireccional Max 50 LPM racores para conexiones de 4 mm salida eléctrica PNP/BA PNP, NPN, y analógica de 0 .. 10 v Rango: 0 - 50 LPM Anclaje en perfil DIN
4	Sensores de presión de segunda etapa	Tipo PNP, NPN de 0 - 10 bares P10R Festo
1	Manifold vaporizadores	Sevotec5 isotec5 (ohmeda)
3	Flujómetros análogos	5 / 70 lpm
3	Válvulas reguladoras de presión con manómetro	LRMA-QS- en ambos lados con racores QS para diámetro exterior de tubo flexible de 4 mm. Regulación de presión de 1 .. 8 bares
1	Analizador de gases anestésicos	Isoflurano, sevoflurane
1	Software TIAPORTAL	win CC, PLCSIM, Runtime. V13 o superiores
2mt	Manguera verde o blanca siliconada	1/4"
2mt	Manguera verde o blanca siliconada	1/8"
2mt	Tubo flexible de material plástico PUN azul	1/4" #6
2mt	Tubo flexible de material plástico PUN azul	1/8" #4
2mt	Tubo flexible de material plástico PUN negro	1/4" #6
2mt	Tubo flexible de material plástico PUN azul	1/8" #4
10	Racores neumáticos en codo roscados	Conector en codo Festo de acople rápido para manguera #4 1/8 serie estándar
10	Racores neumáticos en codo roscados	Conector en codo Festo de acople rápido para manguera #6 1/4 serie estándar
10	Racor neumático tubo-tubo recto,	Festo QSM-6, de 4mm a 4mm
10	Racor neumático tubo-tubo recto,	Festo QSM-6, de 6mm a 6mm
10	Racor neumático tubo-tubo recto,	Festo QSM-6, de 6mm a 4mm

Nota. Elaboración propia.

4. Métodos

Para el desarrollo de este proyecto es necesario, un estudio previo para determinar los parámetros y variables con que trabajan las máquinas de anestesia actuales. Utilizando electroválvulas, sensores, traductores de presión, válvulas reguladoras de presión proporcionales y estranguladoras de caudal, se desea comandar un bloque de programa lógico para la regulación de segunda etapa y dosificación de gases medicinales.

Mediante un PLC se realizará la ejecución de los bloques del programa incluyendo el control PID de las señales de presión y flujo. Para interactuar a través de toda la estructura de la maquina se ve necesario implementar un panel eficiente en el cual se podrán realizar simulaciones de fallas y corrección de estas. Finalmente, con este prototipo se preñden realizar prueba del porcentaje del gas anestésico, realizar una guía de fallas y un manual de servicio. Se realizó una investigación exhaustiva sobre el funcionamiento de las máquinas de anestesia tradicionales, enfocado en sus sistemas neumáticos y electrónicos.

Basado en la información recopilada, se desarrolló un diseño conceptual que integra los principios de neumática aplicados a equipos biomédicos. Se identificaron los componentes clave del sistema y se definieron sus interacciones, asegurando que el equipo final cumpla con los requisitos de precisión y seguridad.

Utilizando SolidWorks, se realizaron modelos 3D detallados de todos los componentes del equipo de anestesia didáctico. Se llevaron a cabo simulaciones para analizar el comportamiento de los gases medicinales, el flujo a través de las válvulas, y la respuesta del sistema ante diferentes escenarios operativos.

Se construyó un prototipo físico a escala basado en el modelo 3D. Este prototipo permitió validar el diseño y realizar ajustes en tiempo real, optimizando la disposición de los elementos y la ergonomía del equipo.

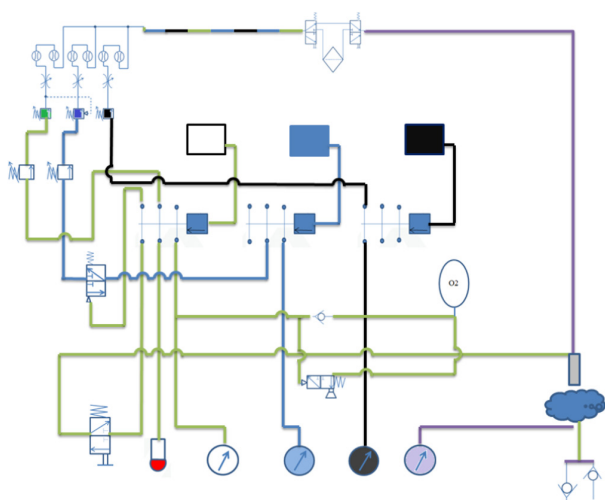
Se realizaron pruebas de funcionamiento en condiciones controladas para evaluar la precisión del sistema de dosificación de gases y la efectividad de las válvulas en la regulación del flujo.

A partir de los datos obtenidos durante la fase de prototipado, se elaboró un manual de operaciones detallado. Este manual incluye instrucciones claras sobre la instalación, operación y mantenimiento del equipo, además de protocolos de seguridad para evitar errores comunes durante su uso didáctico.

Se llevaron a cabo pruebas adicionales con usuarios finales, incluyendo estudiantes y profesionales de la biomedicina, para evaluar la efectividad didáctica del equipo. Se recolectaron retroalimentaciones que se utilizaron para realizar ajustes finales en el diseño y en los materiales educativos asociados.

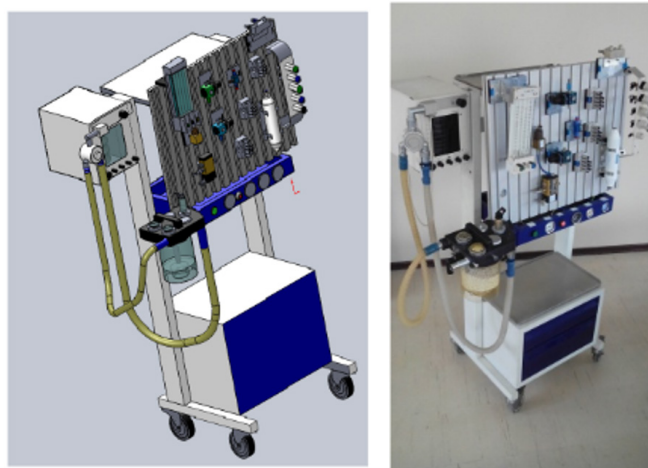
Basado en (Generra Medical, n.d.) se construyó un el esquema neumático que a continuación se detalla:

Figura 1.
Plano neumático



Nota. Elaboración propia.

Figura 2.
Diseño y montaje preliminar de sistema neumático



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.
Modulo con montaje Neumático



Nota. Elaboración propia.

Figura 4.
Máquina de anestesia didáctica con PLC y válvulas de entrada de gases



Nota. Elaboración propia.

5. Resultados

El diseño del prototipo sugiere que es capaz de administrar gases medicinales con alta precisión, lo que permitiría un control adecuado de la dosificación y garantizaría la seguridad del paciente en entornos controlados.

Evaluación Didáctica:

- Se llevaron a cabo pruebas con estudiantes y profesionales de biomedicina, quienes utilizaron el equipo en entornos controlados. Los resultados demostraron una mejora significativa en la operación de armado y desarmado de las máquinas de anestesia, así como en la comprensión de los conceptos clave relacionados con la visualización en bloques de un sistema.

6. Discusión

- Los usuarios reportaron que el equipo didáctico facilitó el aprendizaje práctico y teórico, permitiendo una mejor visualización y comprensión de los flujos de gases, el funcionamiento de las válvulas, y la importancia del mantenimiento preventivo y correctivo.

Desarrollo del Manual de Operaciones: detalladas para la instalación, operación y mantenimiento del equipo didáctico, que incluirán guías de seguridad y recomendaciones para evitar errores comunes durante su uso.

Optimización del Diseño:

- A partir de la retroalimentación recibida durante la fase de pruebas, se realizaron ajustes finales en el diseño del equipo, mejorando la ergonomía y accesibilidad de los controles, así como la claridad de las interfaces de usuario

- Este análisis comparativo permitió identificar áreas clave en las que el prototipo optimiza la operación y el control de los equipos, destacando su potencial para mejorar la precisión y la seguridad en entornos clínicos.

7. Conclusiones

- El equipo de anestesia didáctico desarrollado en este proyecto representa un avance significativo en la educación biomédica, proporcionando una herramienta efectiva para el aprendizaje de técnicas críticas de anestesiología y mantenimiento de equipos médicos. Su diseño interdisciplinario, que integra mecánica, ingeniería y neumática, ofrece una experiencia de aprendizaje completa y accesible.

- Al simular con precisión el funcionamiento de una máquina de anestesia real, este equipo permite a los estudiantes y profesionales entrenarse en un entorno seguro, reduciendo el riesgo de errores en situaciones clínicas reales. Además, la familiarización con los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo contribuye a prolongar la vida útil de los equipos médicos y a garantizar su funcionamiento óptimo.

- El equipo didáctico es altamente aplicable en instituciones educativas y hospitales que buscan mejorar la capacitación de su personal en el manejo de equipos biomédicos. Su uso puede estandarizarse como parte de los programas de formación en biomedicina, asegurando que los futuros profesionales estén mejor preparados para enfrentar los desafíos del entorno clínico.

- El éxito del prototipo sugiere un gran potencial para la escalabilidad del proyecto. Con ajustes menores, el diseño puede adaptarse para incluir otros equipos biomédicos complejos, ampliando así el impacto de la herramienta didáctica en diferentes áreas de la medicina.

8. Referencias bibliográficas

Generra Medical. (n.d.). Manual de operación y diagramas. Generra Medical .

Health Organization, W. (2012). Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44830/9789243501536_spa.pdf

Dorsch, J. A., & Dorsch, S. E. (2012). Understanding anesthesia equipment (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Ehrenwerth, J., Eisenkraft, J. B., & Berry, J. M. (2013). Anesthesia equipment: Principles and applications (2nd ed.). Elsevier.

Miller, R. D., Eriksson, L. I., Fleisher, L. A., Wiener-Kronish, J. P., Cohen, N. H., & Young, W. L. (Eds.). (2014). Miller's anesthesia (8th ed.). Elsevier Saunders.

Pawar, D. K., & Upadya, M. (2020). Maintenance of anesthesia equipment: What the anesthesiologist needs to know. Indian Journal of Anesthesia, 64(10), 847-855. https://doi.org/10.4103/ija.IJA_729_20

Wang, J. J., & Guo, Q. L. (2016). Performance and maintenance of modern anesthesia machines. Journal of Clinical Monitoring and Computing, 30(6), 797-805. <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9790-3>

Fecha de recepción: 22/11/2024
Fecha de aceptación: 13/02/2024