



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Desarrollo de herramienta para cálculo de costos de consumo y comprobación de las características técnicas de la máquina de anestesia Perseus A500 en el Hospital Goyeneche de Arequipa

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Henry Aarón CÁRDENAS SANDOVAL

ASESOR

Mg. Luis Ernesto CRUZADO MONTAÑEZ

Lima, Perú

2022



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

Cárdenas, H. (2022). *Desarrollo de herramienta para cálculo de costos de consumo y comprobación de las características técnicas de la máquina de anestesia Perseus A500 en el Hospital Goyeneche de Arequipa*. [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	Henry Aarón Cárdenas Sandoval
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75731084
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Luis Ernesto Cruzado Montañez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	32920395
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1056-8973
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Ruben Gino Martinez Varela
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09270432
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Wilbert Chavez Irrazabal
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08121733
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.6.3 Instrumentación Biomédica
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Hospital Regional Hermilio Valdizán Medrano País: Perú Departamento: Arequipa Provincia: Arequipa Distrito: Cercado Avenida: Goyeneche N° 100

	Latitud: -16.402459 Longitud: -71.527534
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Mayo 2021 - Agosto 2021
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Robótica, Control automático https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.02 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 Amezcua 375 – Lima 1 – Perú



UNMSM

Firmado digitalmente por PAREDES
PENAFIEL Rejis Renato FAU
20148092282 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.05.2022 17:31:25 -05:00



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 017/FIEE-EPIE/2022

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Comisión Ejecutiva del Programa de Perfeccionamiento Profesional de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, bajo La Presidencia del **MG. MARTINEZ VARELA RUBEN GINO**, integrado por **MG. CRUZADO MONTAÑEZ, LUIS ERNESTO** y el **MG. CHAVEZ IRAZABAL, WILBERT**.

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. CÁRDENAS SANDOVAL, HENRY AARÓN** con código N° **12190143** que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **DESARROLLO DE HERRAMIENTA PARA CÁLCULO DE COSTOS DE CONSUMO Y COMPROBACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA DE ANESTESIA PERSEUS A500 EN EL HOSPITAL GOYENECHÉ DE AREQUIPA**.

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

Ciudad Universitaria, 07 de mayo de 2022

MG. MARTINEZ VARELA, RUBEN GINO

Presidente de Jurado

**MG. CRUZADO MONTAÑEZ, LUIS
ERNESTO**

Asesor

MG. CHAVEZ IRAZABAL, WILBERT

Miembro Jurado

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a dios, por permitirme culminar este proyecto y brindarme las energías necesarias para seguir adelante en este camino profesional, a mi familia por acompañarme siempre, dándome su cariño y motivándome día tras días.

En especial a mi madre Yovana, todo lo que soy es gracias a ella, su espíritu amoroso siempre me sustentara. A mi abuelo que desde el cielo se llena de satisfacción por estos logros. A mi enamorada por impulsarme a continuar con éxito este trabajo y por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes y maravillosos momentos de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado. También un agradecimiento especial a la UNMSM por las enseñanzas brindadas y como no mencionar a la empresa Draeger Peru SAC, que en conjunto llevamos a cabo el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

El presente informe de TSP se ha elaborado teniendo en cuenta la problemática de la mayoría de las salas de operaciones de los Hospitales y clínicas, enfocado a las máquinas de anestesia. El equipo biomédico de anestesia llamado Perseus A500, es de la marca Dräger, en la cual me encuentro laborando, dicho equipo fue instalado bajo mi gestión en el Hospital Goyeneche, Perseus A500 cuenta con un sistema ventilatorio único en el mercado que es la turbina electrónica y características técnicas que me permitieron demostrar la precisión en la entrega de volumen tidal, el ahorro en consumo de agentes anestésicos y oxígeno. Por último, se desarrolló una herramienta para el cálculo de costos del consumo de Perseus A500 a comparación de una maquina con tecnología de fuelle.

El objetivo es optimizar y demostrar los beneficios clínicos que genera Perseus A500 para los pacientes que entran a cirugía en el Hospital Goyeneche.

La metodología utilizada para este proyecto es investigación de tipo aplicada, tecnológica y proyectiva el cual nos permitirá ver empíricamente el beneficio de tener Perseus A500, aplicando tecnologías sofisticadas de electrónica y biomédica.

Palabras claves: volumen tidal, agentes anestésicos, turbina, fuelle, sistema ventilatorio.

ABSTRACT

This TSP report has been prepared taking into account the problems of most operating rooms in Hospitals and clinics, focused on anesthesia machines. The biomedical anesthesia equipment called Perseus A500, is from the Dräger brand, in which I am working, said equipment was installed under my management at the Goyeneche Hospital, Perseus A500 has a unique ventilatory system in the market that is the electronic turbine and technical characteristics that allowed me to demonstrate the precision in the delivery of tidal volume, the savings in consumption of anesthetic agents and oxygen. Finally, a tool was developed to calculate the consumption costs of the Perseus A500 compared to a machine with bellows technology.

The objective is to optimize and demonstrate the clinical benefits that Perseus A500 generates for patients entering surgery at the Goyeneche Hospital.

The methodology used for this project is applicative, technological, and projective research which will allow us to empirically see the benefit of having Perseus A500, applying sophisticated electronics and biomedical technologies.

Key words: tidal volume, anesthetic agents, turbine, bellows, ventilatory system.

INDICE

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II - CONTEXTO EN EL QUE SE DESAROLLO LA EXPERIENCIA.....	3
2.1 RESEÑA DE LA EMPRESA.....	3
2.2 VISIÓN	4
2.3 MISIÓN	4
2.4 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.....	5
2.5 AREA, CARGO Y FUNCIONES DESEMPEÑADAS	5
2.6 EXPERIENCIA PROFESIONAL REALIZADA EN LA ORGANIZACIÓN.....	7
CAPÍTULO III - ACTIVIDADES DESARROLLADAS	8
3.1 SITUACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
3.1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
3.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12

3.2 PROBLEMA GENERAL	14
3.2.1 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	14
3.3 SOLUCIÓN	14
3.3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
3.3.3 ALCANCE.....	15
3.3.4 METODOLOGIAS Y ETAPAS.....	15
CAPÍTULO IV – REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIENCIA.....	47
CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1 CONCLUSIONES	49
5.2 RECOMENDACIONES	50
5.3 FUENTES DE INFORMACIÓN	50
5.4 GLOSARIO... ..	52
CAPÍTULO VI: ANEXOS	59
1. ACTA DE RECEPCIÓN DE LA MÁQUINA DE ANESTESIA PERSEUS A500 EN EL HOSPITAL GOYENECHÉ	59
2. TECNOLOGÍAS DE VENTILADORES EN MÁQUINAS DE ANESTESIA	60
3. CLASIFICACIÓN DE LOS FLUJOS DE GAS FRESCO EN ANESTESIA	60
4. ESQUEMA DE FUNCIONES DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA.....	61
5. CUADRO COMPARATIVO DE PERSEUS A500 VS ZEUS IE.	61
6. ENTRADAS DE GAS DE PERSEUS A500	62
7. ENTRADAS PARA BALONES DE EMERGENCIA DE PERSEUS A500	62
8. CONECTOR PARA VAPORIZADORES.....	63
9. CONEXIÓN DE LA MANGUERA DEL AGS AL SISTEMA DE	

EVACUACIÓN	63
10. INSERTO DEL ABSORBEDOR DENTRO DEL CANISTER....	63
11. CIRCUITO RESPIRATORIO INSTALADO	64
12. COLOCACIÓN DE SENSORES DE FLUJO EN EL SISTEMA VENTILATORIO	64
13. ESQUEMA DEL VENTILADOR TURBOVENT 2	64
14. ECONÓMETRA DE PERSEUS A500.....	65
15. ASISTENTE DE FLUJO BAJO	65
16. PREDICCIÓN DE AGENTE ANESTÉSICO.....	65
17. DIAGRAMA DE BLOQUES DE AUTO ON Y FLUSH & DRY...	66
18. IMÁGENES DE LOS VOLÚMENES TIDALES PROGRAMADOS Y ENTREGADOS POR LA MÁQUINA DE ANESTESIA PERSEUS A500.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Organigrama de la empresa.....	5
<i>Figura 2.</i>	Esquema de entrega de VT al paciente	10
<i>Figura 3.</i>	La aparición del error de volumen en tres categorías en los ventiladores de anestesia en todas las condiciones investigadas.	12
<i>Figura 4.</i>	Diagrama de bloques del desarrollo de este TSP	19
<i>Figura 5.</i>	Colocación del balón de emergencia al Pin-índex y a Perseus A500.	21
<i>Figura 6.</i>	Vaporizadores puestos en Perseus A500.....	22
<i>Figura 7.</i>	Sistema AGS conectado a la manguera.....	22
<i>Figura 8.</i>	Absorbedor de Co2 puesto en Perseus A500.	23
<i>Figura 9.</i>	Entrada para colocar los brazos de Perseus A500.....	23
<i>Figura 10.</i>	Equipo instalado y operativo.....	24
<i>Figura 11.</i>	Diagrama del flujo de gas en Perseus A500.....	26
<i>Figura 12.</i>	Unidad de mezclador de gases	28
<i>Figura 13.</i>	Esquema de suministro de gas en Perseus A500.....	28
<i>Figura 14.</i>	Pantalla de Perseus A500 indicando el Volumen tidal programado e inspiratorio.....	33
<i>Figura 15.</i>	Curva comparativa entre el VT programado VS VT inspiratorio.	35
<i>Figura 16.</i>	Distribución de la eficiencia en los procedimientos registrados.	38

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i>	Valores del Volumen tidal programado, Volumen tidal ideal y el Volumen tidal inspiratorio medido por Perseus A500.	34
<i>Tabla 2.</i>	Registro de datos de las cirugías.	37
<i>Tabla 3.</i>	Precios referenciales de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en el Hospital Goyeneche de Arequipa.	39
<i>Tabla 4.</i>	Información general de sala de operaciones del Hospital Goyeneche de Arequipa	40
<i>Tabla 5.</i>	Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Maquina de anestesia con ventilador de Fuelle, con flujo alto.....	41
<i>Tabla 6.</i>	Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Maquina de anestesia con ventilador de Fuelle, con bajo flujo.....	41
<i>Tabla 7.</i>	Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Maquina de anestesia con ventilador de Fuelle, con bajo flujo.....	42
<i>Tabla 8.</i>	Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Maquina de anestesia con ventilador de Turbina, con alto flujo.	42
<i>Tabla 9.</i>	Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Maquina de anestesia con ventilador de Turbina, con bajo flujo.	43
<i>Tabla 10.</i>	Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Maquina de anestesia con ventilador de Turbina, con mínimo flujo.	43
<i>Tabla 11.</i>	Resumen de costos en los ventiladores de fuelle y turbina, y potencial de ahorro en los ventiladores con turbina.....	44

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad los equipos de anestesia tienen como principal función entregar una aleación de oxígeno y/o aire y agentes anestésicos inhalatorios al paciente. Un sistema de anestesia completo se divide en estaciones de trabajo que incluyen un sistema de alimentación de gas fresco, un circuito anestésico, un ventilador mecánico, monitores de signos vitales y parámetros ventilatorios con alarmas. Durante la anestesia, el paciente no controla sus movimientos involuntarios y voluntarios, por lo que se requiere un respirador artificial para impulsar el oxígeno a los pulmones y permitir que el paciente realice el intercambio de gases, lo cual es posible hoy en día por medio de ventiladores mecánicos. Usualmente, este equipo se compone de una concertina o fuelle protegido por un contenedor, se requiere de un gas motriz para impulsar el fuelle y permitir que el paciente inhale, actualmente el gas motriz que se pierde en el fuelle es equivalente a 10L/min. Según los estudios de investigación el fuelle no es preciso en la entrega de volumen tidal a los pacientes.

Hoy en día existen tecnologías de anestesia con sistemas ventilatorios avanzados, la marca Dräger cuenta con dos sistemas patentados que son el pistón electrónico y la turbina TurboVent 2. En su modelo Perseus A500 cuenta con turbina, el cual tiene muchos beneficios clínicos y herramientas propias.

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional desarrolla la implementación y comprobación de las características de la máquina de anestesia Perseus A500 en la sala 2 del Hospital Goyeneche de Arequipa. También se desarrolló una herramienta de cálculo de costos, utilizando los datos de Perseus A500 en comparación con una de tecnología de fuelle.

En el capítulo II, se expone mi experiencia en la empresa DRAEGER PERU

SAC tomando los principales puntos como cargo y funciones desempeñadas en la institución, mencionando su visión y misión de la compañía.

En el capítulo III, se explica los problemas que hay con referencia al tema de desarrollo, los objetivos y alcances, las etapas y metodologías empleadas.

En el capítulo IV, se describe una reflexión de la experiencia.

En el capítulo V, se dan las conclusiones y las recomendaciones del trabajo realizado en este Informe profesional.

CAPÍTULO II: CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA.

2.1 Reseña de la Empresa

Dräger es un líder internacional en los campos de la tecnología médica y de seguridad.

Fundada en Lübeck en 1889, Dräger se ha convertido en una empresa mundial en su quinta generación como una empresa familiar. Nuestro éxito a largo plazo se basa en una cultura corporativa orientada al valor con cuatro fortalezas centrales: nuestra intimidad con el cliente, nuestros empleados, nuestra innovación y nuestra calidad.

Dräger se esfuerza por lograr un liderazgo de calidad en toda su cartera de productos. Es por eso por lo que desarrollamos, producimos y distribuimos productos seguros y efectivos que funcionan de manera confiable durante toda su vida útil y cumplen con la funcionalidad esperada por el cliente. “Tecnología para la vida” es nuestra filosofía rectora. Los productos Dräger protegen, respaldan y salvan vidas.

División Medical

Dräger ofrece a sus clientes estaciones de anestesia, ventiladores para cuidados intensivos y emergencias, monitorización de pacientes, así como dispositivos para la asistencia médica de bebés prematuros y neonatos. Con unidades de suministro de techo, soluciones de TI para el quirófano y sistemas de gestión de gases, la empresa respalda a sus clientes en todos los sectores del hospital.

2.2 Visión

Hospital automation

Ayudar a reducir el número de muertes evitables en los hospitales es un compromiso que hice. Mi objetivo personal va más allá: mejorar la atención aguda con tecnologías y servicios que conducen a la asistencia terapéutica y, en última instancia, a la automatización del hospital ".

Stefan Dräger, presidente y director ejecutivo

2.3 Misión

Improving acute care

Como su especialista en cuidados intensivos, nunca dejamos de mejorar los cuidados intensivos mientras lo apoyamos en el avance de los resultados clínicos, la gestión de los costos, la mejora de las experiencias de los pacientes y la garantía de la satisfacción del personal. Es por eso por lo que en Dräger nos apasiona el desarrollo de tecnologías, productos, conocimientos y servicios para cuidados críticos que le ayudarán a alcanzar sus objetivos durante más de 125 años.

2.4 Organización de la Empresa

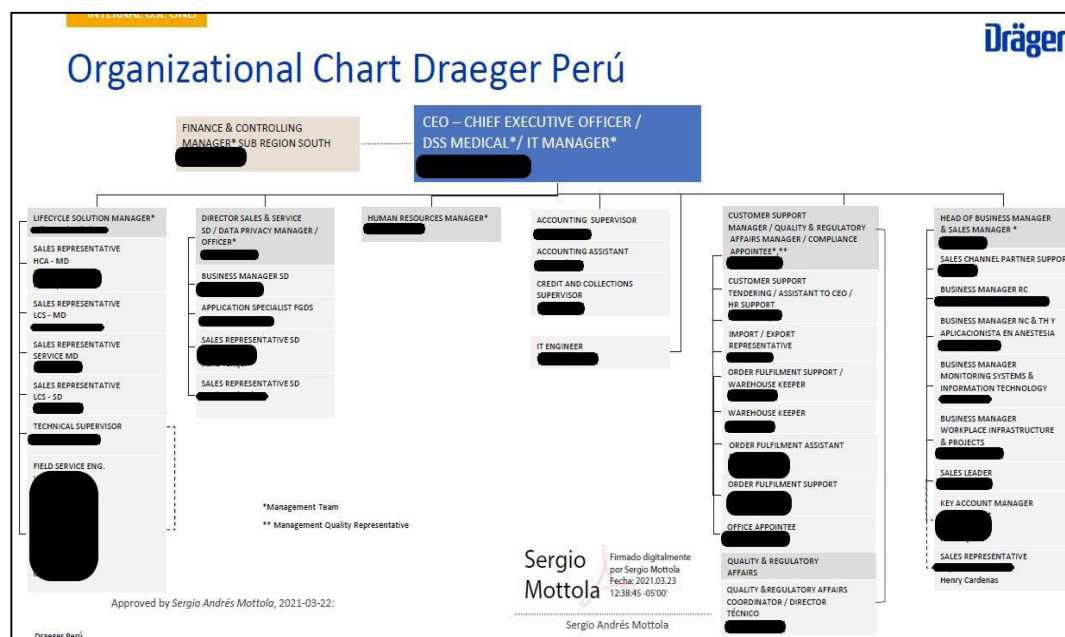


Figura 1. Organigrama de la empresa.

Fuente: Casa de procesos Draeger Peru S.A.C

2.5 Área, Cargo y Funciones Desempeñadas

Área: Medical Sales Department

Cargo: Sales Representative Medical

Funciones:

En la institución desempeño el cargo de Representante de Ventas para el área Médica. En específico tengo asignado la cartera del sur del Peru (Arequipa, Cusco, Moquegua, Madre de Dios, Apurimac, Puno y Tacna), los clientes son Hospitales, Clínicas, Centros de Salud y Gobiernos Regionales. El departamento de Ventas Medical es responsable de todo lo relacionado a la venta, instalación, capacitación y post venta del portafolio Medico de Draeger. Todo el equipo del área recibe las capacitaciones del portafolio

medico de carácter usuario, comercial y técnico para poder transferir los conocimientos a los clientes y a la compañía.

Los propósitos principales de mi función(misión) son:

- Alcanzar la meta de ventas de productos Draeger y el establecimiento de una alta reputación de servicio postventa
- Ser responsable del presupuesto para los productos / soluciones del portafolio de Dräger en el área geográfica asignada.

Las tareas y responsabilidades de mi función son:

- El desarrollo activo de las relaciones con los clientes.
- Desarrolla relaciones a largo plazo con el cliente según las normas y estrategia de Dräger en su área geográfica definida.
- Foco en las ventas de la cartera de Dräger (los productos Dräger y no-Dräger): dispositivos y soluciones.
- Genera y gestiona el proceso de ventas.
- Define junto con el cliente el producto / solución ideal de la cartera de productos que cumpla con la necesidad del mismo, participa activamente en las Demo y orienta el resultado de la actividad.
- Negociar y cerrar acuerdos.
- Interfaz principal ante el cliente en relación con los procesos y soluciones, utilizando todos los recursos necesarios Dräger.
- Responsabilidad de presupuesto de ventas (ingresos netos, el margen), prepara previsiones de ventas para su área.
- Instalación de los equipos biomédicos del portafolio Dräger y capacitación de carácter técnico y usuario.
- Coordina, Asiste, Verifica, Supervisa el correcto despacho de sus equipos. Realiza la entrega de los productos y soluciones, entrega la capacitación técnica y de uso necesaria.
- Participa activamente en exposiciones y actividades de marketing, genera oportunidades, y las gestiona en el CRM (congresos, talleres, en general cualquier actividad con clientes).
- Monitorea y estudia el mercado, la competencia y el desarrollo del cliente.
- Informa a los gerentes de cada modalidad sobre las tendencias del mercado.

- Actualiza continuamente CRM, analiza mercado/producto con el especialista de producto.
- Coordina, facilita contactos, asiste, en la gestión de cobros.

2.6 Experiencia Profesional realizada en la organización

Durante mi desarrollo profesional en la Institución realice lo siguiente:

- Adquirir conocimientos biomédicos en anestesia, ventilación mecánica, neonatología, monitoreo de signos vitales e infraestructura hospitalaria.
- Instalación de los equipos médicos como: máquinas de Anestesia, lámparas cialíticas, mesa de operaciones, monitores de signos vitales, incubadora neonatal, cuna de calor radiante, bilirrubinómetros, fototerapia, ventilador mecánico y columna de gases.
- Sustentación de especificaciones técnicas.
- Configuración de los equipos en System Price 4 para importar.
- Capacitación de uso y técnico de los equipos biomédicos del portafolio medico Dräger.
- Preparar cotizaciones y soluciones para los clientes de mi zona
- Gestión de los clientes asignados utilizando la herramienta CRM 365.
- Elaboración de Plan estratégico para los clientes de mi zona.
- Elaboración de licitaciones públicas.
- Negociar y cerrar negocios de equipamiento biomédico.

Adicional a lo mencionado, pude afianzar mis cualidades de trabajo en equipo, coordinación, facilidad de comunicación, resolución de problemas, creatividad, responsabilidad y liderazgo. Lo cual me llevaron a ser premiado dos veces en la compañía.

Datos de persona a cargo

Nombre: LUIS ALEJANDRO GALLIANI CASTRO

Cargo: HEAD OF BUSINESS MANAGER & SALES MANAGER

Correo: luis.galliani@draeger.com

Celular: 991982975

CAPÍTULO III: ACTIVIDADES DESARROLLADAS

En este capítulo se presenta la Determinación del Problema, los objetivos generales y específicos, el alcance y los fundamentos teóricos necesarios para el trabajo de investigación. Seguidamente se muestra el desarrollo de cada fase de la aplicación de la metodología.

3.1 Situación del Problema

A continuación, se realiza el planteamiento del problema a través de la definición y Formulación del Problema.

3.1.1 *Determinación del Problema*

Antes de las máquinas que conocemos hoy en día, el suministro de anestesia a los pacientes se hacía mediante vidrio o vasos de metal en los cuales se depositaba el líquido (éter etílico o cloroformo), o en bolsas de aire. Así, de estos recipientes los pacientes debían inhalar los vapores, que subían mediante bombeo o el uso de esponjas, gasas y similares. Como tal, las máquinas de anestesia no fueron utilizadas en el campo médico sino hasta principios del siglo XX, en el año 1902, cuando Dräger creó el primer dispositivo anestésico en el mundo para Oxígeno y Cloroformo.

¿Qué es una máquina de anestesia?

Una máquina de anestesia es un equipo diseñado para proveer una mezcla de gases que permitan la ejecución de un procedimiento de diagnóstico o terapéutico, especialmente quirúrgico. La misma debe vaporizar cantidades exactas de gases y administrar con precisión una mezcla de vapores

conocida, pudiendo variar las proporciones de estos, incluyendo los necesarios para mantener con vida al paciente y para anestesiarlo. Estos equipos cumplen diversas funciones:

- proveer de oxígeno y aire a los pacientes,
- mezclar los gases: oxígeno y/o aire, vapores o gases anestésicos, N₂O, otros gases médicos (xenón, CO₂, helio, etc.),
- facilitar la ventilación espontánea, controlada o asistida, entregando volumen y presión precisa para el paciente
- minimizar los errores humanos mediante mecanismos de seguridad,
- Y reducir (eliminar) el riesgo relacionado con el paciente y el staff médico, esto es, evitar que los médicos inhalen los gases que expira del paciente.

Las máquinas de anestesia juegan un papel muy importante en los hospitales y centros médicos. Su uso es necesario para ciertos procedimientos que requieren que el paciente reciba gas anestésico y que se monitoree su respiración durante todo el proceso.

En la actualidad existen 4 tecnologías de ventilador en las máquinas de anestesia, que son fuelle, volumen reflector, pistón electrónico y turbina.

En la gráfica siguiente se muestra el principio de funcionamiento de cada tecnología, tomando en cuenta que en la actualidad en que vivimos, el oxígeno está escaso por el COVID 19.

El fuelle o concertina para que pueda funcionar necesita si o si de Oxígeno o aire (Gas motriz), el volumen reflector necesita Oxígeno, el pistón electrónico y la turbina necesitan de corriente eléctrica. Actualmente los ventiladores que usan gas motriz, ya sea oxígeno o aire, como impulsor de funcionamiento, dicho gas motriz termina siendo expulsado a la atmósfera por medio de un conducto. Es decir, por cada operación se va a desperdiciar una significativa cantidad de Oxígeno o aire, lo cual no es beneficioso para el Hospital más aun ahora por la coyuntura actual de la pandemia del COVID 19.

Estos sistemas ventilatorios deben entregar volúmenes tidales precisos y bajos. La peligrosidad específica de un alto volumen tidal ya ha sido descrita desde hace tiempo para pacientes SDRA, y la aplicación de un bajo Volumen

tidal se ha convertido en el estándar de atención para estos pacientes en la UCI, debido a la evidencia que demuestra una reducción significativa de la mortalidad. Pero la evidencia no sólo ha demostrado las ventajas de un bajo Volumen tidal para los pacientes SDRA, sino también para pacientes críticos sin lesiones pulmonares. Las estrategias de bajo Volumen tidal aún no se aplican como el estándar de atención en estos pacientes (Serpa Neto A,2015). En el quirófano, los ensayos clínicos han sugerido que las estrategias de protección pulmonar que incluyen un Volumen tidal reducido presentan un efecto positivo en la función pulmonar y en la disminución de complicaciones pulmonares postoperatorias (PPC). Tres RCT han demostrado los efectos positivos de un bajo Volumen tidal en pacientes sometidos a cirugía abdominal y de columna vertebral. Los volúmenes tidales en estos ensayos alcanzan niveles tan bajos como 6 - 7 ml/kg de peso corporal teórico (PBW) (Serpa Neto A,2015). Un reciente metaanálisis indicó los efectos perjudiciales de un Volumen tidal elevado, incluso bajo ventilación a corto plazo para anestesia general durante la cirugía, recomendando un Volumen tidal relativamente bajo de 6 - 8 ml/kg de PBW (Serpa Neto A,2015). Un RCT muy reciente sobre ventilación protectora pulmonar también sugiere este método para pacientes sanos sometidos a cirugía laparoscópica (Park SJ, Kim BG,2016).



Figura 2. Esquema de entrega de VT al paciente.

Fuente: Elaboración propia.

Los equipos de anestesia deben garantizar el poder utilizar flujos bajos y mínimos en las intervenciones quirúrgicas, cuando hablamos de flujo nos referimos al flujo de gas fresco (FGF), que es el flujo de gas (mezcla de oxígeno y aire) que sale de la máquina de anestesia, procedente de las tomas de pared, a través de los flujómetros o caudalímetros que se utiliza para administrar al paciente el volumen corriente a través de la rama inspiratoria durante la inspiración. Se mide en litros/min (l/min) y según la cantidad (volumen/min) de gas que se introduce en el circuito, el FGF puede clasificarse.

Cuando se trabaja con bajos flujos se conserva el calor (Aldrete, 1987; Henriksson y col., 1997) y la humedad en el circuito (Anger y col., 1990; Kleemann, 1994), lo que mejora la clínica del paciente anestesiado (Bengtson y col 1989; Baum, 2001). Concomitantemente, una reducción en el flujo de gases anestésicos redundará también en una menor contaminación en la sala de operaciones (Meier y col., 1995) pero fundamentalmente sobre el medio ambiente (Smith, 1995). Es importante comprometerse con el problema que significa la polución y contribuir a mejorar las condiciones de vida en el planeta. La anestesia produce del 3 al 12% del N₂O global. Los gases anestésicos deterioran la capa de ozono por reacción del cloro y óxido nítrico liberado respectivamente. Además, el óxido nitroso colabora con el calentamiento del planeta (Smith, 1995). De manera adicional, la reducción del consumo lleva implícita una menor manipulación y llenado de los vaporizadores redundando en una menor exposición directa del personal afectado a esta tarea.

Otro punto sumamente importante es que hay muy poca información sobre la cuantificación de los gastos que generan los ventiladores de las máquinas de anestesia en cada intervención quirúrgica, de igual forma con los agentes anestésicos. Se sabe que en la actualidad para la adquisición del equipamiento biomédico no se ve el retorno de inversión, debido a que no se sabe los costos asociados a dichos equipos.

Lo importante hoy en día, no solo por la pandemia del COVID 19, es optimizar costos en los Hospitales o Clínicas, gracias a las tecnologías de última generación en conjunto con las herramientas que brinden.

3.1.2 Formulación del Problema

El Hospital Goyeneche del Gobierno Regional de Arequipa, cumple un rol social en la solución de los problemas de salud de sus habitantes, brindando una atención integral de salud eficiente y de calidad, desde sus inicios ha sido y será considerado por su incondicional ayuda sanitaria a la población arequipeña y de toda la región sur del país. Su centro quirúrgico cuenta con 4 salas de operaciones, en las cuales hay 2 máquinas de anestesia de tecnología de Turbina (Perseus A500) y 2 máquinas con tecnología de fuelle. Según el estudio publicado en el 2013 por la British Journal of Anaesthesia (Revista Británica de anestesia), mencionan que encontraron que Aisys (fuelle) tuvo la precisión de entrega de volumen tidal más baja cuando el error de volumen fue $>7\%$ en casi todas las condiciones. Además, el error de volumen $> 10\%$ se obtuvo en casi el 60% de todas las mediciones para este ventilador (fuelle).

Para el caso de ZEUS (turbina - Dräger) se ve que el error de volumen $>10\%$ se obtuvo el 0% de todas las mediciones y cuando hay un error $<$ igual a 5% tiene una precisión del 79,2% para el ventilador de turbina. En Primus (ventilador pistón - Dräger) tuvo la mayor precisión ya que el error de volumen fue consistentemente más bajo que el umbral proporcionado por el fabricante. Hay algunas circunstancias en las que hubo poca diferencia entre los ventiladores la mayoría pertenecen a Primus y Zeus ventiladores.

	$\leq 5\%$	$>5 \text{ to } \leq 10\%$	$>10\%$
Aisys™	16 (4.9%)	115 (35.5%)	193 (59.6%)
Flow-i™	116 (36.1%)	204 (63.6%)	1 (0.3%)
Primus™	323 (99.7%)	1 (0.3%)	0 (0%)
Zeus™	126 (79.2%)	33 (20.8%)	0 (0%)
P-value (χ^2 test)	<0.0001		

Figura 3. La aparición del error de volumen en tres categorías en los ventiladores de anestesia en todas las condiciones investigadas.

Fuente: British Journal of Anesthesia, 2013

La anestesia de flujo bajo y mínimo no está exenta de problemas, por ejemplo, la reducción del volumen de flujo de gas fresco por debajo del consumo del paciente y la posibilidad de que se produzca una situación hipóxica.

Presenciando diversas operaciones, se vio que aproximadamente en promedio el 60% de anestesiólogos usaba flujos medios y el resto entre flujos bajos y altos, esto se debe a que desconocen las herramientas, de las máquinas de anestesia, que dan confiabilidad para aplicar la técnica de flujos bajos y mínimos. Por ende, existe un mayor consumo de oxígeno por operación, teniendo en cuenta que en el Hospital solo usan Oxígeno en el FGF porque no hay suministros ni balones de Aire medicinal. Además, en las operaciones que no usan flujo bajo o mínimo existe mayor consumo de Sevoflurano (agente anestésico utilizado en el Hospital) generando aumento en costos de dicho agente, contaminación al medio ambiente y a los propios anestesiólogos.

En la sala dos y uno cuentan con las máquinas de anestesia Perseus A500 de Dräger, se identificó que aún no conocen al cien por ciento los beneficios clínicos y tecnológicos que tiene dicho equipo biomédico, lo que genera que no le saquen el máximo provecho.

Adicionalmente, para el departamento de Centro Quirúrgico es importante monitorizar los gastos asociados con sus máquinas de anestesia, hoy por hoy no tienen dicha herramienta que calcule los costos de consumo. Para la empresa en la cual laboro también está en busca de dicha herramienta para el modelo Perseus A 500 ya que con esta podremos ver los costos que genera nuestra maquina a comparación de otras, en la realidad del Perú.

3.2 Problema General:

¿Como comprobar las características técnicas de la Máquina de anestesia Perseus A500 en el Hospital Goyeneche de Arequipa e implementar una herramienta para el cálculo de los costos asociados al consumo de las máquinas de anestesia?

3.2.1 Problemas Específicos

- ¿Cómo determino la mejor opción tecnológica en ventiladores anestésicos?
- ¿Qué requerimientos mínimos serían necesarios para instalar la máquina de anestesia y garantizar que cumpla su tiempo de vida?
- ¿Cómo se elige al mejor equipo de anestesia que utiliza la tecnología de turbina?
- ¿Cómo compruebo la eficiencia del funcionamiento de la máquina de anestesia Perseus A500?
- ¿Cómo demuestro la exactitud en la entrega de volumen tidal de la máquina de anestesia Perseus A500?
- ¿Cómo se puede calcular el ahorro de consumo de oxígeno, agente anestésico y corriente eléctrica, al utilizar la máquina de anestesia de tecnología turbina Perseus A500?

3.3 Solución

3.3.1 Objetivo General

Desarrollar una herramienta para el cálculo de costos de consumo y comprobar las características técnicas de la máquina de anestesia Perseus A500 con turbina en el Hospital Goyeneche de Arequipa.

3.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las tecnologías de los ventiladores anestésicos.
- Analizar los requerimientos mínimos para la funcionalidad de la máquina de anestesia.
- Comparar equipos de anestesia que utilizan la tecnología de turbina.

- Implementar la máquina de anestesia Perseus A500 en el Hospital Goyeneche.
- Comprobar la precisión en la entrega de volumen tidal a los pacientes del Hospital Goyeneche de Arequipa.
- Elaborar la herramienta de costos de consumo de Perseus A500 versus la de tecnología de fuelle.

3.3.3 Alcance

El presente trabajo brinda información sobre la introducción, implementación y ventajas de la Máquina de anestesia Perseus A500 para los pacientes de centro quirúrgico de la sala 2 del Hospital Goyeneche, lo cual permitirá reducir las complicaciones pulmonares postoperatorias y la contaminación de los anesthesiólogos y del medio ambiente.

3.3.4 Metodologías y etapas

El trabajo realizado está enfocado en mejorar el Clinical Outcome de los pacientes de sala de operaciones del Hospital Goyeneche y también en hacer visible los gastos asociados a las máquinas de anestesia que cuentan en el Hospital.

Con la solución implementada se le dará una utilidad del cien por ciento al equipo biomédico de anestesia Perseus A500, también se tendrá mapeado los costos y con ello ver el retorno de inversión que genera tener una tecnología como Perseus A500. Para la compañía en la que trabajo esta solución servirá como herramienta de ventas.

ANTECEDENTES

En la mayoría de los hospitales a nivel nacional, incluido el Hospital Goyeneche, cuentan con máquinas de anestesia por tecnología de fuelle.

Durante décadas, los ventiladores accionados por concertinas (fuelle) han representado el estándar de anestesia. Los primeros ventiladores de

anestesia eran diseños de fuelle que esencialmente automatizaban el proceso de apretar la bolsa de reserva, liberando al proveedor de anestesia de esta actividad manual repetitiva.

Los diversos perfiles de pacientes que requieren anestesia para cirugía en la actualidad (por ejemplo, pacientes con multimorbilidades, pacientes en terapia intensiva, neonatos, pacientes obesos, etc.), obligan a un rendimiento significativamente mejorado del ventilador en las máquinas de anestesia, en comparación con el rendimiento ofrecido por los ventiladores tradicionales accionados por concertinas (fuelle). Los doctores necesitan suministrar gases anestésicos a sus pacientes y para ello esperan una ventilación con una calidad a nivel de UCI. Dräger innovó introduciendo los ventiladores eléctricos y electrónicos, entre ellos está la turbina.

El modo de ventilación más común utilizado durante la anestesia es la ventilación controlada por volumen, en la que el médico establece un volumen corriente específico que se administrará al paciente. Cuando se utiliza un ventilador de fuelle, el volumen deseado se administra en el compartimiento del fuelle, desplazando el fuelle y empujando el gas del circuito hacia el paciente. Dado que la presión en el compartimiento del fuelle variará entre pacientes o incluso entre respiraciones, el gas que impulsa el fuelle estará sujeto a diversos grados de compresión que no se pueden predecir. La compresión variable del gas impulsor es un obstáculo fundamental para el suministro de volumen preciso mediante un ventilador de fuelle. Además, dado que no se conoce la posición final de los fuelles, tampoco se conoce el volumen que fue entregado por el ventilador.

Para el caso de la turbina, tiene el mismo principio de funcionamiento que los ventiladores de cuidados intensivos, los cuales garantizan una precisión en la entrega de volumen y presión al paciente. Además, de que no utiliza un gas impulsor para funcionar. Como ya se había mencionado, el estudio realizado por la British Journal of Anaesthesia (Revista Británica de anestesia), en el 2013, indica un mejor porcentaje en la precisión de entrega de volumen tidal en ventiladores con tecnología de turbina a comparación del ventilador de fuelle.

La capacidad de responder rápidamente a los esfuerzos de respiración

espontáneos de un paciente, así como la capacidad de alcanzar y mantener rápidamente los niveles de presión de manera efectiva., son atributos esenciales de la turbina de Dräger. Gracias a su diseño y a la característica de alcanzar niveles de presión variables de forma rápida y mantener las presiones; resulta fundamental para la aplicación de CPAP (presión continua y positiva de las vías respiratorias).

En el modelo Perseus A500 se puede activar CPAP en modo MAN/SPONT para mantener abiertos los pulmones incluso en pacientes obesos y en estado crítico.

Es importa y crucial mencionar que el ventilador de turbina no requiere gas comprimido como fuente de energía, mientras que el ventilador fuele moderno depende completamente del gas comprimido para funcionar.

Dräger cuenta con dos máquinas de anestesia de tecnología de turbina, una es Perseus A500 y la otra es Zeus IE.

Zeus IE trabaja con un sistema cerrado, su método de administración es anestesia controlada por objetivos (TCA) en la cual los anestesiólogos solo tienen que establecer sus objetivos para cada fase del proceso de anestesia. Además, cuenta con el módulo DIVA (Inyección directa de agentes volátiles) que es capaz de suministrar la cantidad necesaria de oxígeno y de agente anestésico volátil, esto significa que Zeus IE suministra exactamente la cantidad de gas metabolizado por el paciente. Esta característica de Zeus IE representa un paso más allá de lo conocido en los procesos de anestesia, por consiguiente, es sumamente costoso.

Al momento de elegir entre ambos modelos, Zeus no calzaba con el presupuesto que manejaba el Hospital Goyeneche, siendo su precio el doble de lo presupuestado para el Hospital, adicional a ello es que los usuarios querían el modo ventilatorio APRV, que solo lo tiene Perseus A500.

Para la instalación de las máquinas de anestesia del mercado, se debe contar con el ambiente adecuado, según la Norma Técnica de Salud **NTS N°110 -MINSA/DGIEM-V.01** aprobada en el 2014 en su artículo 1, señala que “el área mínima de una Sala de Operación es de 30 m², teniendo un ancho mínimo de 5.20 metros y una altura libre mínima de 3 metros.

Las Salas de Operaciones deben mantener una temperatura estable entre 20 y 24°C y una humedad relativa entre 30 a 60%.

El aire desplazado debe entrar por la parte superior del quirófano y salir por la parte inferior. El ruido en el centro de la sala no debe superar los 40 db.

Tendrá al menos una toma de pared en lados opuestos del quirófano, que suministre oxígeno, vacío, aire comprimido médico, electricidad y datos.

Se sabe que la mayoría de los Hospitales no cuenta con lo descrito en la Norma Técnica de Salud, sobre todo con respecto a las tomas murales con suministros de oxígeno, vacío y aire comprimido medicinal.

DESARROLLO

A continuación, se describirá cada una de las etapas que permitieron ejecutar y demostrar de manera secuencial y de forma óptima el presente trabajo de suficiencia profesional.

I. Instalación, capacitación y puesta en marcha

Esta etapa comprende desde la compra del equipo biomédico por el Hospital hasta el acta de recepción de este, priorizaremos el trabajo realizado para la instalación, capacitación y puesta en marcha.

II. Herramientas clínicas y técnicas de Perseus A500

Se plasmará todas las características clínicas y técnicas del equipo al detalle, las cuales fueron explicadas en la capacitación a la hora de entregar la máquina de anestesia Perseus A500.

III. Comprobación de precisión en la entrega de Volumen Tidal

En esta etapa recolectaremos datos de diferentes operaciones, monitorizaremos el volumen tidal programado vs el volumen tidal entregado, para verificar si existe precisión en la turbina de Perseus A500.

IV. Cuantificación del consumo de Oxígeno y Sevoflurano en Perseus A500

Se realizará un estudio del consumo de sevoflurano y oxígeno en diferentes operaciones utilizando los datos que brinda la máquina de

anestesia Perseus A500 al final del procedimiento.

V. Desarrollo de herramienta para el cálculo de costos

Se implementará una herramienta que calcule los costos del consumo de la máquina de anestesia Perseus A500 y de la máquina de anestesia de fuelle, tomando en cuenta los precios y datos del Hospital Goyeneche de Arequipa.

Esto se describe en el siguiente diagrama de bloques.

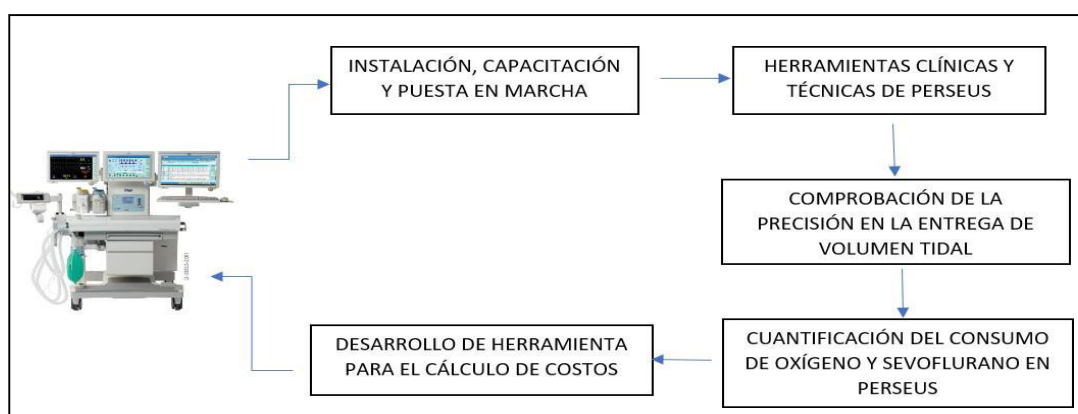


Figura 4. Diagrama de bloques del desarrollo de este TSP.

Fuente: Elaboración propia

I. Instalación, capacitación y puesta en marcha

En el año 2019, bajo mi gestión, el Hospital Goyeneche de Arequipa realizó el procedimiento de selección de Adjudicación simplificada N° 012-2019-HG, cuyo objeto de convocatoria es ADQUISICION DE MAQUINA DE ANESTESIA CON MONITOR COMPLETO, el otorgamiento de buena pro fue para la empresa a la cual laboro. El modelo que vendí fue Perseus A500 con monitor de signos vitales IACS.

En el mes de noviembre del 2019, viajé a la ciudad de Arequipa para realizar todo lo relacionado al acta de entrega de la máquina de anestesia.

Primero se gestionó con el área usuaria (doctora jefa del departamento) y el área de ingeniería (jefe de biomédica) la instalación del equipo bajo su supervisión. Una vez que están los jefes encargados, se empieza abriendo las

cajas y luego, con el inicio de la instalación.

La máquina de anestesia Perseus A500 viene de fabrica con casi todo ensamblado, el trabajo es instalar los siguientes componentes:

- A. Suministro de gas central y balones de emergencia
- B. Los vaporizadores electrónicos
- C. Sistema de evacuación de gases y absorbedor de CO₂
- D. Brazos para accesorios y sistema ventilatorio

A. Suministro de gas central y balones de emergencia

Para la toma de gases centrales, debemos conectar las mangueras de gases medicinales como son la de oxígeno y aire, en el hospital solo cuenta con toma de oxígeno por eso solo enrosque manualmente la manguera de oxígeno a la entrada de oxígeno situada en la parte posterior del dispositivo (ver figura). Se debe enroscar firmemente para que quede conectado correctamente y sin fugas. La otra parte de la manguera va conectado a la toma central del hospital.

Luego debemos instalar los balones de emergencia tipo E en la máquina de anestesia, para este caso solicitaron solo de oxígeno y aire.

En la parte posterior están los soportes para los balones de emergencia con sus respectivas conexiones pin-index, primero haremos la conexión de la válvula de los balones de emergencia con la entrada pin index. **(DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)**

Nos fijamos que las dos espigas pin-index (A) estén presentes debajo de la entrada de gas (B), alineamos el balón de emergencia (F) de manera que los orificios pin-index del cabezal del balón (E) estén mirando hacia las espigas pin-index (A) del soporte para balones (I), introducimos el cabezal (E) del balón de emergencia (F) en el soporte (I) del yugo de suspensión (J) desde abajo dejando que las espigas pin-index (A) entren en los orificios pin-index. Se gira el asa (H) del soporte de balones (I) en sentido horario y la punta del pasador de retención roscado se girará posteriormente hacia el hueco visible del cabezal del balón, nos aseguramos de que la botella de gas (F) este suspendida verticalmente. Giramos la manivela (H) del soporte

para balones (I) y aseguramos los balones de emergencia (F) con cintas de velcro (K) que vienen en el equipo. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

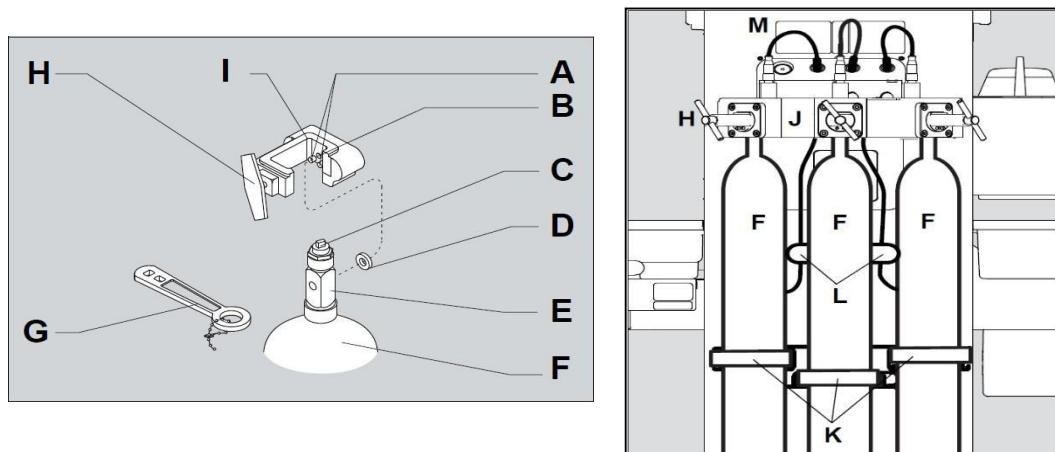


Figura 5. Colocación del balón de emergencia al Pin-índice y a Perseus A500.

Fuente: Manual usuario Perseus A500.

B. Los vaporizadores electrónicos

El otro componente para instalar son los vaporizadores, en la máquina de anestesia su entrada se encuentra en la parte frontal (ver imagen), ahí es donde debemos fijarlo.

Primero colocamos el vaporizador en el adaptador de enchufe nivelado y lo ajustamos firmemente, luego giramos la palanca de bloqueo (A) en el sentido de las agujas del reloj, la palanca está en la posición de bloqueo cuando apunta hacia la izquierda. Giramos el dial de control a la posición 0; el botón (C) se enclava en su posición, para comprobar el nivel de llenado del vaporizador es a través de la mirilla (B), como es nuevo viene vacío, entonces se debe llenar. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

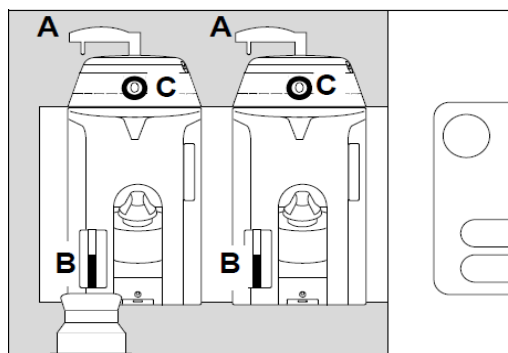


Figura 6. Vaporizadores puestos en Perseus A500.
Fuente: Manual usuario Perseus A500.

C. Sistema de evacuación de gases y absorbedor de CO₂

Perseus A500 cuenta con un sistema de recepción de gases anestésicos (AGS) integrado, el cual, si no está conectado al sistema de eliminación, el aire ambiente de la sala de operaciones quedara contaminado con los gases anestésicos. Primero conectamos el tubo de evacuación a la boquilla (A) del sistema de recepción, luego aseguramos el tubo de evacuación con el protector (B).

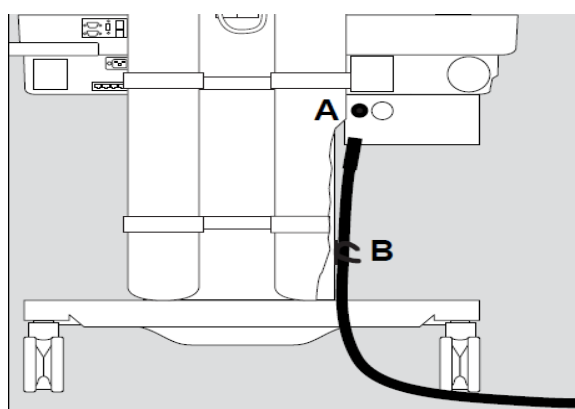


Figura 7. Sistema AGS conectado a la manguera.
Fuente: Manual usuario Perseus A500.

Finalmente conectamos el conector del tubo de evacuación a la toma mural del sistema de evacuación.

El absorbedor de CO₂ cuenta con dos partes que son el canister y el inserto,

primero introducimos por completo el inserto del absorbedor en el recipiente del absorbedor, luego llenamos el absorbedor de CO₂ con cal sodada nueva hasta la marca superior. **(DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)**

Introducimos el filtro de polvo de cal sodada nuevo (E), que este en perfecto estado, finalmente introducimos el absorbedor de CO₂ (F) en el sistema paciente desde abajo y, seguidamente, giramos en el sentido contrario a las agujas del reloj tanto como sea posible. **(DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)**

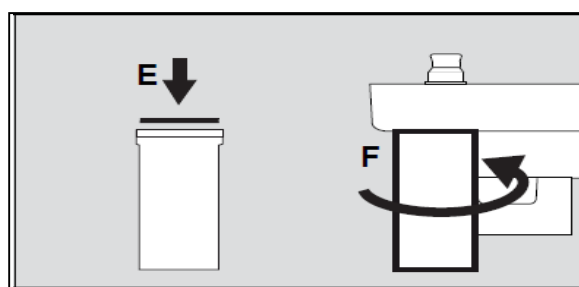


Figura 8. Absorbedor de Co2 puesto en Perseus A500.
Fuente: Manual usuario Perseus A500.

D. Brazos para accesorios y sistema ventilatorio

Los brazos para instalar son los que servirán para colocar el monitor de signos vitales o accesorios en general, estos brazos van a ir puestos en los rieles laterales (B) de la máquina de anestesia. El brazo entra a presión al riel y luego se ajusta con una llave Allen.

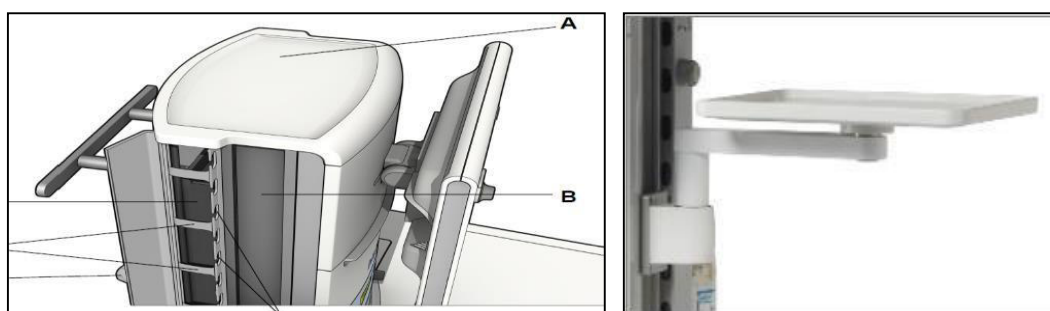


Figura 9. Entrada para colocar los brazos de Perseus A500.
Fuente: Manual usuario Perseus A500.

Para dejar listo el sistema ventilatorio, debemos primero colocar los sensores de flujo, destapamos la cubierta que cubre el sistema ventilatorio y desenroscamos el puerto espiratorio y el puerto inspiratorio. Introducimos los sensores de flujo y volvemos a enroscar los puertos inspiratorios y espiratorios. **(DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)**

Colocamos la cubierta del sistema ventilatorio en su posición y que encaje.

Finalmente se acopla el circuito respiratorio, uno en el puerto inspiratorio, uno en el puerto espiratorio y la bolsa de reservorio.

Con todo lo descrito en esta etapa, la máquina de anestesia queda lista para ser usada. **(DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)**



Figura 10. **Equipo instalado y operativo.**
Fuente: Foto propia.

Una vez terminado con el proceso de instalación, sigue la capacitación usuaria y técnica de Perseus A500. La temática de capacitación comprende hablar del principio de funcionamiento, operación del equipo, tratamiento,

conservación, limpieza de los componentes y principios elementales para cuidado del instrumental. En la parte de principio de funcionamiento y operación del equipo es donde se toca las herramientas únicas de Perseus A500, las cuales generan beneficios clínicos y técnicos. La imagen siguiente muestra el acta de recepción firmada y sellada, garantizando la conformidad del trabajo realizado en la puesta en marcha del equipo biomédico Perseus A500.

II. Herramientas clínicas y técnicas de Perseus A500

En esta etapa describiremos todo lo enseñado en la capacitación usuaria y técnica, poniendo en evidencia todos los beneficios que genera tener la máquina de anestesia Perseus A500. Describiremos las siguientes herramientas:

- a) Sistema ventilatorio de Turbina (TurboVent 2).
- b) Ventilación en caso de emergencia
- c) Modos ventilatorios avanzados
- d) Económetro y asistente de flujo bajo
- e) Predicción de agente anestésico
- f) Encendido automático y Flush & Dry.

a) Sistema ventilatorio de Turbina

El principio de funcionamiento del sistema respiratorio consta de dos fases, la inspiración y la espiración. En la inspiración, se introduce gas fresco por en punto A; la turbina, que se llama Turbovent 2, transporta gas desde la bolsa de reservorio (N) a través del absorbedor de CO₂ (O) y la válvula de inspiración (C) al pulmón del paciente (F). La presión de inspiración se ajusta con el TurboVent 2 y la válvula PEEP (J). En la espiración, al comenzar se abre la válvula PEEP (J) y el gas regresa desde el pulmón del paciente a través de la válvula de espiración (I) a la bolsa de reservorio, y el gas excedente va al sistema de recepción de gas anestésico (L).

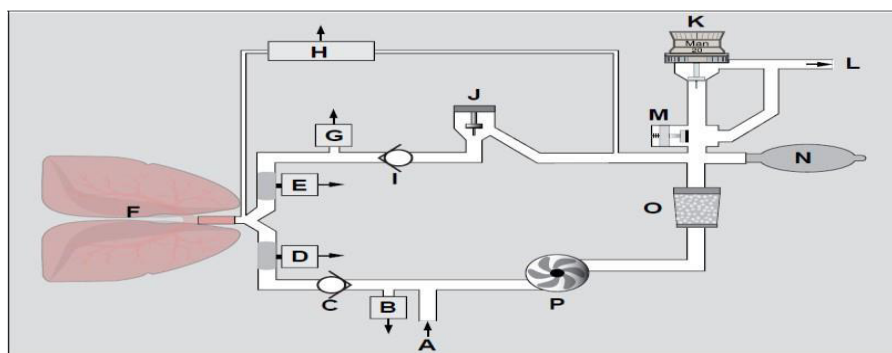


Figura 11. Diagrama del flujo de gas en Perseus A500
Fuente: Manual usuario Perseus A500

Al saber cómo trabaja la turbina en el sistema respiratorio, podremos entender mejor su principio de funcionamiento. TurboVent 2 es principalmente un soplador radial regulado por medio de una electrónica de activación según las necesidades, es accionado por un motor eléctrico sin escobillas. En el motor hay instalados tres sensores Hall, estos comunican la posición del rotor a la electrónica de activación. A partir de la información de posición se determina entonces la situación y la dirección del campo magnético propulsor. **(Drägerwerk AG & Co. KGaA, 2018)**

Como función tiene lo siguiente:

- Genera una corriente de presión o de volumen para asegurar la respiración del paciente
- Solo está apagado durante el modo MAN/SPON.
- De lo contrario, la turbina siempre funciona con un nivel de revoluciones bajo.

Ventajas frente a otras tecnologías:

- Reacciona rápido a los cambios en la composición del gas
- Capacidad de compensación en caso de fugas grandes
- Asistencia a la respiración espontánea de los pacientes en los modos de respiración Presión soporte, Presión control, APRV, Volumen control, Autoflow.
- Mayor precisión y velocidad en caso de cambios de presión

- Precisión en la entrega de Volumen tidal
- Cambio entre MAN/SPON y respiración controlada
- Alarma temprana en caso de fugas debido a los cambios de presión
- Es autoclavable aguantando hasta 134° y libre de mantenimiento.
- No usa gas motriz.

Esta tecnología no lo tienen ninguna otra marca en el mercado, es una patente de Dräger y solo están en sus modelos Perseus A500 y Zeus.

b) Ventilación en caso de emergencia

En los modelos de última generación, se busca que garanticen siempre su funcionamiento y que no desampare al paciente. Perseus A500 cuenta con dos sistemas de emergencia únicos, para el que caso en el cual se apague por completo la máquina y otro para el caso que no hubiera oxígeno.

Cuando el equipo no enciende o su turbina está dañada y si hay oxígeno, no significa que nos quedamos sin máquina de anestesia Perseus A500, el equipo tiene un sistema de emergencia mecánico para poder hacer una ventilación manual entregando agente anestésico, la ventilación manual se hace a través de la bolsa de reservorio y el anestesiólogo bolseando.

Primero se ajusta la válvula APL (válvula de limitación de presión) al valor deseado, luego en la maquina se ajusta el interruptor de O2 (D) a la posición Add.O2. Abrimos la válvula de control de flujo (B) y se ajusta el flujo de O2 deseado. Si es necesario, pulse la tecla O2+ (H) para llenar la bolsa de reservorio, monitorizamos el flujo ajustado en el flujómetro de O2 (B), posterior ajustamos la concentración de gas anestésico en el vaporizador y hacemos la ventilación manual al paciente. **(DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)**

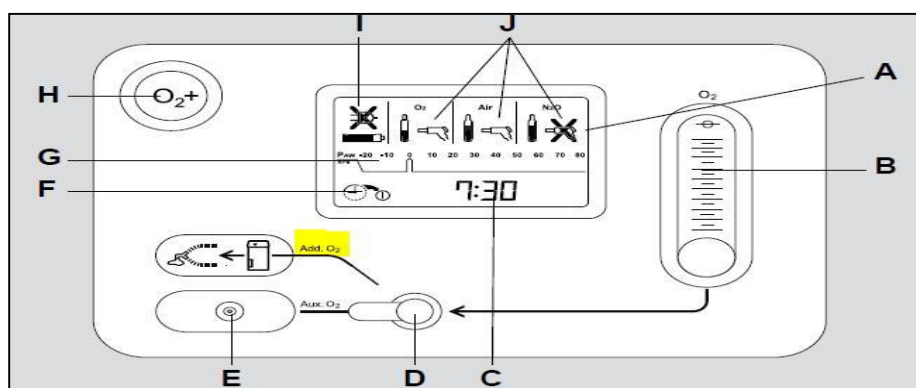


Figura 12. Unidad de mezclador de gases
Fuente: Manual usuario Perseus A500.

En el siguiente diagrama podemos ver como de las tomas central de oxígeno o botella de oxígeno (A) pasa al flujómetro de O₂ (D) y en la posición Add.O₂ se une con el agente anestésico generado por el vaporizador (C), yendo esa mezcla al paciente (H).

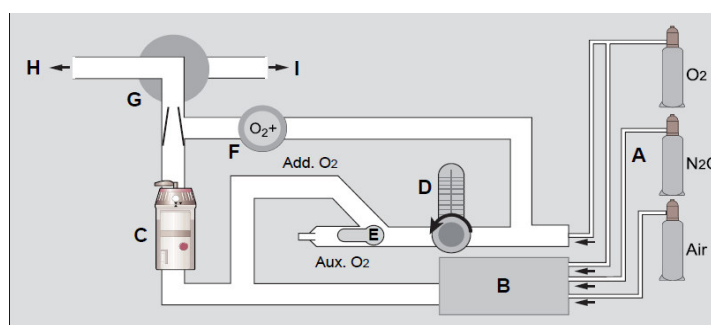


Figura 13. Esquema de suministro de gas en Perseus A500.
Fuente: Manual usuario Perseus A500.

Otras de las emergencias comunes que sucede, es que se acabe el balón grande de oxígeno o que el empotrado de oxígeno tenga alguna falla, cuando pasa esto, las maquinas del mercado que usan gas motriz (Oxígeno y/o aire) para accionarse se paran y dejan de ventilar. En el caso de Perseus A500, gracias a su turbina que no necesita gas motriz, permite seguir ventilando en los modos de ventilación automática. Se debe quitar la bolsa de reservorio y dejar que continúe la ventilación automática, cuando se haya retirado la bolsa

de reservorio, el volumen de gas fresco que falta se llena automáticamente con aire ambiente. Perseus A500 nos da respaldo por un periodo de 35 minutos para poder conseguir un balón de oxígeno. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

c) Modos ventilatorios avanzados

La estación de anestesia Perseus A500 puede empezar la ventilación con valores preestablecidos para los parámetros de ventilación como el volumen tidal y la frecuencia respiratoria basada en el peso corporal ideal. Perseus A500 al tener ventilador de turbina, el flujo circular reduce las resistencias del sistema de ventilación y eso facilita la respiración espontánea y reduce el esfuerzo respiratorio. También ofrece ventilación controlada con presión de soporte y modos de presión de soporte autónomos que prestan apoyo a la respiración espontánea para lograr el volumen tidal deseado. A continuación, se hablará de los modos ventilatorios más resaltantes de Perseus A500. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

Ventilación con liberación de presión en las vías respiratorias (APRV)

Este modo ventilatorio es controlado por presión, la respiración espontánea del paciente se produce en el nivel superior de presión P_{alta} , este nivel de presión se mantiene mientras dura T_{alto} . El número de caídas de presión está determinado por los ajustes de tiempo T_{alto} y T_{bajo} . La reducción, controlada por tiempo, no puede ser activada por el paciente. La duración viene determinada por T_{bajo} . Usualmente este modo lo usan en la UCI para hacer reclutamiento alveolar y ahora con Perseus A500 también se puede usar en sala de operaciones. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017).

Perseus A500 cuenta con varias maniobras para el reclutamiento pulmonar, que son Inspiración mantenida / espiración mantenida, reclutamiento a un solo paso y reclutamiento en múltiples pasos.

Inspiración mantenida, Espiración mantenida

Perseus A500 ofrece funciones con las que se puede iniciar o prolongar una respiración, o prolongar una espiración. Estas funciones pueden ser de utilidad en situaciones en las que se supone que los pulmones no deben moverse. La inspiración manual / inspiración mantenida ofrece lo siguiente, en

la fase espiratoria entre dos respiraciones mandatorias, se puede iniciar manualmente una inspiración y mantenerla. El patrón de ventilación de la inspiración iniciada manualmente corresponde al patrón de ventilación del modo ventilatorio activo. Se puede prolongar una respiración mantenida. La espiración mantenida ofrece que se prolongue la espiración y retrase la siguiente respiración. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

Reclutamiento un solo paso

Esta maniobra aplica una presión determinada durante un tiempo específico, y de este modo permite, por ejemplo, una respiración prolongada con presión ajustable. Se debe programar una presión y la duración, opcional es la programación de un recordatorio para repetir la terapia. El aumento de la presión desde el nivel PEEP hasta el nivel de presión ajustado y el descenso de la presión al final de la maniobra tienen lugar a 20 hPA/s. La maniobra finaliza automáticamente una vez transcurrido el tiempo. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

Reclutamiento en múltiples pasos

Esta maniobra aplica una secuencia de inspiraciones mandatorias controladas por presión a niveles de presión variables. Las presiones inspiratoria y espiratoria aumentan en incrementos y luego se reducen de nuevo a los niveles de inicio. En el caso de parámetros como frecuencia respiratoria y tiempo inspiratorio, se emplean los valores del modo de ventilación anterior. Si no existe ningún valor disponible para el parámetro Rampa, se utiliza un valor de 0,2 segundos. Cuando se inicia la maniobra, la presión inspiratoria aumenta automáticamente en incrementos hasta el valor $P_{insp\ max}$ máximo ajustado, y la presión espiratoria aumenta hasta el valor PEEP máximo. Ambas presiones se mantienen al nivel máximo durante un determinado número de respiraciones ($Resp@Max$) y luego se van reduciendo de nuevo gradualmente. El grado de aumento y reducción de la presión depende de la categoría de paciente seleccionada. En la configuración del sistema se efectúan los ajustes adecuados. Si la presión ya no se va a aumentar más durante la maniobra, pulse el botón Descender ahora y confirme. Luego, la presión se reducirá de nuevo gradualmente y como resultado, la duración de la maniobra también se reduce. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

d) Económetro y asistente de flujo bajo

Perseus A500 supervisa el nivel de llenado de la bolsa de ventilación manual y muestra cualitativamente el suministro de gas fresco en un gráfico de barras en el Económetro. Cuando llega a la zona amarilla, hay un exceso de suministro y la posibilidad de ahorrar gas fresco y por tanto de agentes anestésicos. La zona verde es un indicador de que la bolsa de ventilación manual del Perseus A500 está suficientemente llena; existe una capacidad de reserva disponible y no resulta necesario realizar ninguna acción. El área roja significa que el suministro de gas fresco no es suficiente y es necesario que el usuario llene la bolsa de ventilación manual. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017).

El Asistente de flujo bajo compara el consumo de gas fresco calculado (consumo del paciente + fugas en el circuito + volumen de absorción de CO₂ por cal sodada) con el flujo total actual en un gráfico de fácil interpretación. Cada una de estas herramientas son útiles para la anestesia de flujo bajo y también para la administración económica de gas anestésico a la vez que evita que se produzcan situaciones hipóxicas. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017).

e) Predicción de agente anestésico

Esta función puede servir para predecir la concentración de agentes volátiles en un periodo de hasta 20 minutos. La concentración de gas anestésico del agente anestésico suministrado actualmente (o del agente anestésico principal medido, si el suministro está desactivado) se visualiza como un diagrama a color. La concentración espiratoria correspondiente se muestra mediante el código de color del agente anestésico. Las concentraciones medidas anteriormente aparecen en la sección izquierda (A), y las concentraciones previstas en la sección derecha (B). Las concentraciones previstas dependen de la configuración del vaporizador, del flujo de gas fresco ajustado y de diversas mediciones. Aparecen 2 líneas de puntos (D) durante el procedimiento de ajuste del flujo de gas fresco. Cuando el valor es modificado con el control de terapia, las líneas se desplazan y muestran una previsualización de la concentración prevista. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

f) Encendido automático y Flush & Dry.

Se recomienda apagar el equipo durante periodos largos de inactividad. De esta forma puede reducirse el consumo eléctrico y prolongar la vida útil de Perseus A500 sin afectar negativamente a la disponibilidad del dispositivo. Al apagar el dispositivo, el usuario cuenta con dos funciones.

Auto On que Prepara el dispositivo para la puesta en marcha automática, Incluido el chequeo del sistema y Flush and Dry que lava y seca el sistema paciente.(DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

Auto On

Utilizando esta función, el equipo puede ser programado para que ejecute un chequeo automático del sistema a una hora específica. Durante la inicialización, la función Auto On comprueba los componentes que con frecuencia provocan irregularidades: por ejemplo, las fugas importantes, válvula APL ajustada incorrectamente. Luego de esto, el equipo permanece en el modo Espera hasta el chequeo automático del sistema o se apaga.

Una vez finalizada la inicialización de Auto On, en el modo Espera se visualiza el tiempo restante hasta el chequeo del sistema. Cuando el equipo se está apagando, la visualización de estado muestra el símbolo correspondiente. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

Lavado y secado del sistema paciente (Flush and Dry)

Se recomienda lavar siempre el sistema paciente antes de apagar el dispositivo con el fin de evitar daños o el fallo de este debido a los restos de agente anestésico y a la humedad residual. Durante este proceso, primero se utiliza aire ambiente para el lavado puesto que no seca la cal sodada. Luego, se utiliza una pequeña cantidad de oxígeno o de aire del suministro central de gas o de las botellas de gas para eliminar la humedad restante. Después del procedimiento de lavado, Perseus se apaga o permanece en el modo Espera (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017)

III. Comprobación de precisión en la entrega de Volumen Tidal

Una vez utilizado el equipo y teniendo en cuenta que los usuarios anestesiólogos conocen las características de Perseus A500, se decidió comprobar empíricamente la exactitud en la entrega de volumen tidal. En los modos ventilatorios controlados por volumen, es donde el anestesiólogo

puede programar el volumen tidal que dosificara al paciente. La máquina de anestesia Perseus A500 gracias a sus sensores de flujo medirá el volumen tidal entregado por el ventilador de tecnología turbina, el cual se puede ver en la pantalla de la máquina de anestesia como parámetro llamado volumen tidal inspirado (VTi).

En la imagen siguiente podemos ver los datos a evaluar, en la parte inferior tenemos el volumen tidal que queremos suministrar al paciente, y en la parte inferior derecha lo que el equipo le está entregando al paciente gracias a su ventilador TurboVent 2.

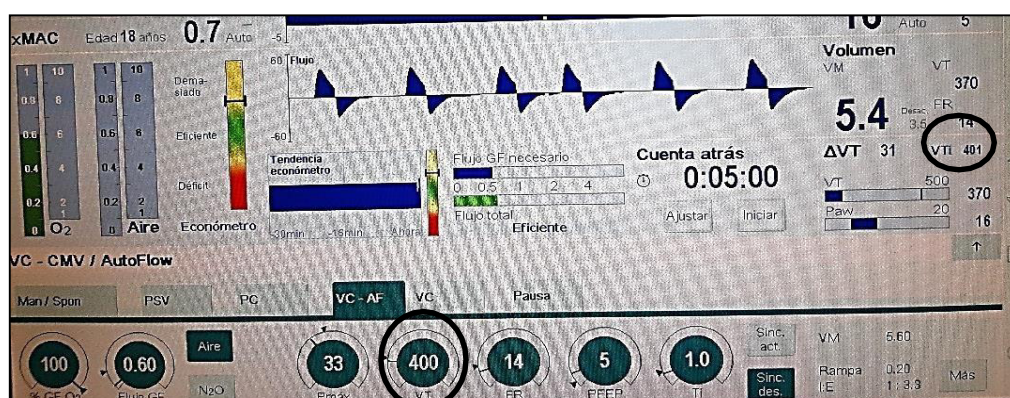


Figura 14. Pantalla de Perseus A500 indicando el Volumen tidal programado e inspiratorio.

Fuente: Foto propia.

A continuación, mostraremos la tabla del Volumen tidal programado vs el Volumen tidal inspiratorio, que es censado por la máquina de anestesia. Estos valores se tomaron de diferentes operaciones, en total fueron 40 valores. Para los valores mayores a 600 ml de volumen tidal se utilizó un pulmón de prueba de 3L. Adicional agregamos la columna del Volumen tidal ideal, que sería lo que el ventilador debe dar exactamente.

Tabla 1. Valores del Volumen tidal programado, Volumen tidal ideal y el Volumen tidal inspiratorio medido por Perseus A500.

VT programado	VT ideal	VT Inspirado
20	20	20
30	30	30
40	40	40
50	50	49
75	75	74
100	100	100
150	150	150
210	210	208
290	290	290
320	320	320
340	340	338
380	380	381
390	390	390
400	400	401
410	410	411
440	440	440
450	450	450
460	460	459
480	480	481
490	490	490
510	510	510
540	540	540
550	550	552
560	560	560
570	570	570
590	590	590
610	610	610
640	640	641
680	680	682
710	710	710
730	730	731
760	760	760
780	780	782
800	800	801
830	830	830
850	850	850
870	870	873
880	880	880
890	890	891
900	900	901

Se observa que en el 55% de los casos, el volumen tidal programado es el mismo al volumen tidal entregado (VTi) por la máquina de anestesia Perseus A500. El otro 45% restante, se tienen valores que difieren en 1ml, 2ml y 3ml a lo programado. Para ser exactos tenemos 12 (30%) casos en el cual el volumen tidal programado difiere en 1ml al entregado por el equipo, lo cual es mínimo. Fueron 5 (12.5%) casos en el cual difiere en 2 ml y solo un (2.5%) caso donde difirió en 3ml.

En la página 224 del manual de uso del equipo Perseus A500, indica que la precisión de volumen tidal inspiratorio es de $\pm 8\%$ del valor medido o ± 15 ml. En los datos obtenidos se muestra claramente que el VTi se desvía de lo programado en ± 3 ml, solo en algunos casos, lo cual demuestra que cumple y mejora a lo indicado en el manual. (DrägerWerk AG & Co.KGaA, 2017).

En la gráfica siguiente se tiene en el eje X al volumen tidal programado y en el eje Y el volumen tidal entregado; se trazó la gráfica de los valores obtenidos con el volumen tidal inspiratorio y también del volumen tidal ideal. Se observa que las curvas son casi idénticas, difiriendo en lo más mínimo.

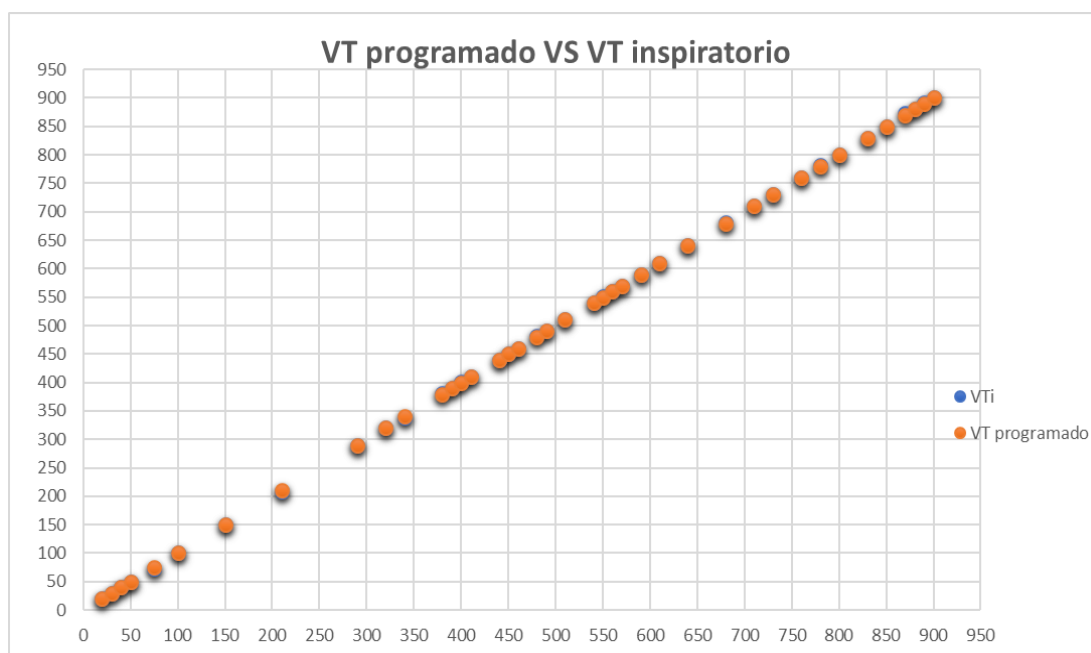


Figura 15. Curva comparativa entre el VT programado VS VT inspiratorio.

Fuente: Elaboración propia

IV. Cuantificación del consumo de Oxígeno y Sevoflurano en Perseus A500

La implementación de Perseus A500 permite ahorrar recursos y también monitorizar gases anestésicos y medicinales. En esta etapa se hizo el estudio del consumo de sevoflurano y oxígeno en diferentes cirugías utilizando los datos que Perseus A500 proporciona al final del procedimiento. Además, se estimó cómo hubiese aumentado el consumo de oxígeno si las mismas cirugías, se hubieran efectuado con una de sus máquinas de anestesia con tecnología de concertina (fuelle) para el aporte del volumen minuto respiratorio al paciente.

Se recolectó la información presenciando cirugías en el mes de mayo del 2021 y también mediante la exportación de datos que tiene Perseus A500, en la cual escogimos datos de cirugías aleatorias en el mes de abril del 2021. Mediante la opción de exportar data de Perseus A500, nosotros podemos extraer lo almacenado por el equipo, en este caso extrajimos lo almacenado en el “Libro de registros” el cual guarda hasta un máximo de 20000 entradas.

Los datos recolectados fueron:

- Duración en minutos de la cirugía.
- Consumo de Sevoflurano: Volumen de Sevoflurano aportado al sistema por el vaporizador.
- Captación: Volumen de Sevoflurano captado por el paciente.
- Eficiencia: Es la relación de Captación / Consumo.
- Consumo de Oxígeno: Volumen de Oxígeno aportado al sistema. Como el hospital no cuenta con Aire medicinal, no podemos verificar su consumo.
- Estimación del consumo adicional de Oxígeno como gas motriz si las operaciones se hubieran hecho con las máquinas del Hospital de tecnología fuelle. Esta estimación es en base a que el volumen de gas motriz que utiliza el fuelle es igual al volumen minuto respiratorio del paciente. El valor de volumen minuto que escogimos fue el que se mantuvo estable durante los procedimientos. Al multiplicar el volumen minuto respiratorio estable por la duración de la cirugía, se obtiene un valor estimado del gas motriz utilizado por dichas máquinas.

Tabla 2. Registro de datos de las cirugías.

CIRUGIA	DURACIÓN (Min.)	CONSUMO O2 (L)	CONSUMO SEV. (mL)	CAPTACIÓN SEV. (mL)	EFICIENCIA (%)	FUELLE (L)
1	93	212	17.7	6.7	38%	613.8
2	198	402	37	23.8	64%	1049.4
3	148	196	10.1	5.2	51%	799.2
4	154	238	17.9	11.5	64%	1185.8
5	558	687	58	26.6	46%	2176.2
6	143	392	29	12.5	43%	600.6
7	102	251	21.4	11.9	56%	510
8	339	689	43.5	17	39%	2169.6
9	108	313	39.1	12.3	31%	691.2
10	553	1268	0	0	0%	5751.2
11	67	108	7.8	5	64%	609.7
12	285	513	0.8	0.4	50%	2137.5
13	252	323	55.5	27.9	50%	1965.6
14	226	385	92.1	3.6	4%	542.4
15	136	195	24.1	13.3	55%	992.8
16	122	198	21.4	10.8	50%	854
17	189	323	55.8	37.1	66%	1323
18	204	224	22.3	10.4	47%	1428
19	391	686	69.1	18.7	27%	2267.8
20	159	276	74.9	2.7	4%	206.7
21	217	288	54.1	36.2	67%	1627.5
22	263	335	49.9	20.9	42%	1578
23	265	462	46.5	21	45%	2146.5
24	224	308	43.1	21.6	50%	1657.6
25	173	272	46.1	20.7	45%	1124.5
26	144	250	41.3	22.9	55%	864
27	699	884	12.3	7.2	59%	3984.3
28	148	116	25.3	11.1	44%	636.4
29	105	80	10.4	7.4	71%	619.5
30	72	80	18.8	15.2	81%	612

En la tabla se observan los valores obtenidos. En total fueron 28 cirugías bajo anestesia general y 2 bajo anestesia total intravenosa (TIVA). El tiempo promedio fue de 225 minutos por cirugía, siendo el tiempo máximo 699 min. y el mínimo 67 min. El consumo de oxígeno promedio fue de 365 litros por cirugía, siendo el consumo máximo 1268 L. y el mínimo 80 L. El consumo de sevoflurano promedio fue de 34.8 mL. por cirugía, siendo el consumo máximo 92.1 mL. y el mínimo 7.8 mL., sin contar los valores de la anestesia por TIVA ya que ahí se consume casi nada de agentes inhalatorios. La captación de sevoflurano promedio fue de 14.72 mL. por cirugía, siendo la captación

máxima 37.1 mL. y el mínimo 2.7 mL. La eficiencia promedio fue de 47%, siendo el máximo 81% y el mínimo 4%. Finalmente, y super importante, la estimación del consumo promedio extra de gas motriz (oxígeno) fue de 1424.2 litros por procedimiento, siendo el máximo 3984.3 L y el mínimo 206.7 L.

El consumo de oxígeno total en los procedimientos registrados fue de 10954 litros, si dichas operaciones se hubiesen realizado con un sistema ventilatorio de tecnología fuelle se hubiera consumido 53678.8 litros, estamos hablando de un incremento en el consumo del 390 % con un promedio de 1424.2 litros de oxígeno extra por cada procedimiento. Es realmente significativo todo lo que se ahorra el hospital por tener una tecnología de turbina.

Ahora analizaremos lo relacionado a los gases anestésicos, para ser más exactos del sevoflurano. Se busca que la eficiencia sea lo más cercano a 100%, para esto Perseus A500 tiene herramientas para aplicar flujos bajos o mínimos que ayudan a lograr una eficiencia máxima, sin comprometer, en absoluto a la seguridad del paciente. En los datos obtenidos se muestra la siguiente distribución de la eficiencia:



Figura 16. Distribución de la eficiencia en los procedimientos registrados.

Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte de las cirugías se ubican en el rango de 50 a 70%, lo que pone en evidencia un gran potencial de mejora en el uso de los recursos. Si generalizamos la técnica de bajo o mínimo flujo, ayudándonos de las herramientas de Perseus A500, se hubiera obtenido mejores resultados y una

mayor parte de las cirugías estaría en el rango de mayor a 70%. Cabe recalcar que en las operaciones donde estuvo presente, se fomentó la utilización de flujos bajos y mínimos.

V. Desarrollo de herramienta para el cálculo de costos

Esta herramienta es capaz de comparar el consumo, costos de gases medicinales, en este caso Oxígeno y agentes anestésicos durante procedimientos de anestesia volátil para dos tipos de tecnologías de máquinas de anestesia, fuelle y turbina, que son las maquinas que cuenta el Hospital Goyeneche de Arequipa.

Para llevar a cabo esta herramienta se procedió a obtener información del Hospital Goyeneche. Primero obtuve el costo de Oxígeno, esta información está en el área de farmacia, luego el costo del agente anestésico sevoflurano y por último el costo de la energía eléctrica, la cual la obtuve del recibo del mes de Junio del Hospital.

Tabla 3. Precios referenciales de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en el Hospital Goyeneche de Arequipa.

<i>Datos referenciales de Mercado en Arequipa</i>		
Gas	Cantidad	Precio S./
O2	1000 L	4,720.00
N2O	1000 L	-
Aire	1000 L	-
Isoflurane	250mL	-
Sevoflurane	250mL	187.35
Desflurane	240mL	-
<i>Otro:</i>		
Energia Electrica	1 kWh	0.221

*Sevoflurane marca NHARANE

Para la siguiente etapa del desarrollo, obtuve información del centro quirúrgico: número de salas de operaciones, tiempo promedio de duración de las cirugías, metodología de flujo de gas fresco y el halogenado que utilizan.

Tabla 4. Información general de sala de operaciones del Hospital Goyeneche de Arequipa

Numero de Salas	4	Máquinas Existentes en el Hospital
Total máquinas con Turbina	2	Drager
Tiempo de duración promedio	225	min
Inducción	10	min
Cirugia	200	min
Termino	15	min
Metodo y porcentaje de flujos en la anestesia		
Alto Flujo, mayores a 1 litro	63%	
Bajo Flujo, flujos entre 0,5 y 1 litro	27%	
Minimo Flujo, flujos menores a 0,5 litros	10%	
Porcentaje de halogenados utilizados		
Isoflurano	0%	
Sevoflurano	100%	
Desflurano	0%	

Para calcular los costos asociados a una intervención quirúrgica, se contemplará la metodología de flujo alto, bajo y mínimo de gas fresco. La duración promedio de una operación en el Hospital Goyeneche es de 225 minutos, de las cuales 10 minutos son para la inducción, 200 minutos para la cirugía y 15 minutos para el término del procedimiento. Los valores de programación de agente anestésico son referenciales al igual que el consumo de gas motriz. A continuación, mostraremos el cálculo de costos asociados a una máquina de anestesia con tecnología de fuelle.

Tabla 5. Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Máquina de anestesia con ventilador de Fuelle, con flujo alto.

Flujo Alto		Estimacion referencial.			
Fase	Duración [min]	Programación	% agente usado	A. Agent [mL/caso]	Costo S./
Inducción		Flujo [l/min]			
Preoxygenación	O ₂	3	10.00		141.60
Fase de alto flujo	O ₂	10	6.00		283.20
	N ₂ O	10	0.00		0.00
	Aire	10	0.00		0.00
		Vapor [Vol%]	[%]		
	Isoflurane	10	0.00	0.00	0.00
	Sevoflurane	10	3.50	11.29	8.46
	Desflurane	10	0.00	0.00	0.00
					433.26
Cirugia		Flujo [l/min]			
	O ₂	200	2.00		1,888.00
	N ₂ O	200	0.00		0.00
	Aire	200	0.00		0.00
		Vapor [Vol%]	[%]		
	Isoflurane	200	0.00	0.00	0.00
	Sevoflurane	200	2.50	53.76	40.27
	Desflurane	200	0.00	0.00	0.00
					1,928.27
Término		Flujo [l/min]			
	O ₂	15	5.00		354.00
	N ₂ O	15	0.00		0.00
	Aire	15	0.00		0.00
					354.00
Total de costos por casos					2,715.53
Costo de gas motriz para funcionar					
Tipo de ventilador	Duración de la Anestesia	Consumo gas l/min	Costo gas/l (O ₂)	Consumo total	Costo S./
Fuelle	225 min	10 l/min	S/ 4.72	2250 L	10,620.00
Total					13,335.53

Tabla 6. Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Máquina de anestesia con ventilador de Fuelle, con bajo flujo.

Bajo Flujo		Estimacion referencial.			
Fase	Duración [min]	Programación	% agente usado	A. Agent [mL/caso]	Costo S./
Inducción		Flujo [l/min]			
Preoxygenación	O ₂	3	10.00		141.60
Fase de alto flujo	O ₂	10	6.00		283.20
	N ₂ O	10	0.00		0.00
	Aire	10	0.00		0.00
		Vapor [Vol%]	[%]		
	Isoflurane	10	0.00	0.00	0.00
	Sevoflurane	10	3.50	11.29	8.46
	Desflurane	10	0.00	0.00	0.00
					433.26
Cirugia		Flujo [l/min]			
	O ₂	200	0.90		849.60
	N ₂ O	200	0.00		0.00
	Aire	200	0.00		0.00
		Vapor [Vol%]	[%]		
	Isoflurane	200	0.00	0.00	0.00
	Sevoflurane	200	3.00	29.03	21.75
	Desflurane	200	0.00	0.00	0.00
					871.35
Término		Flujo [l/min]			
	O ₂	15	5.00		354.00
	N ₂ O	15	0.00		0.00
	Aire	15	0.00		0.00
					354.00
Total de costos por casos					1,658.60
Costo de gas motriz para funcionar					
Tipo de ventilador	Duración de la Anestesia	Consumo gas l/min	Costo gas/l (O ₂)	Consumo total	Costo S./
Fuelle	225 min	10 l/min	S/ 4.72	2250 L	10,620.00
Total					12,278.60

Tabla 7. Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Máquina de anestesia con ventilador de Fuelle, con bajo flujo.

Flujo Mínimo Estimación referencial.						
Fase	Duración [min]	Programación	% agente usado	A. Agent [mL]/caso	Costo \$/	
Inducción		Flujo [l/min]				
Preoxygenación	O ₂	3	10.00			141.60
Fase de alto flujo	O ₂	10	6.00			283.20
	N ₂ O	10	0.00			0.00
	Aire	10	0.00			0.00
		Vapor [Vol%]	[%]			
	Isoflurane	10	0.00	0%	0.00	0.00
	Sevoflurane	10	3.50	100%	11.29	8.46
	Desflurane	10	0.00	0%	0.00	0.00
						433.26
Cirugía		Flujo [l/min]				
	O ₂	200	0.45			424.80
	N ₂ O	200	0.00			0.00
	Aire	200	0.00			0.00
		Vapor [Vol%]	[%]			
	Isoflurane	200	0.00	0%	0.00	0.00
	Sevoflurane	200	3.70	100%	17.90	13.41
	Desflurane	200	0.00	0%	0.00	0.00
						438.21
Término		Flujo [l/min]				
	O ₂	15	5.00			354.00
	N ₂ O	15	0.00			0.00
	Aire	15	0.00			0.00
						354.00
Total de costos por casos						1,225.47
Costo de gas motriz para funcionar						
Tipo de ventilador	Duración de la Anestesia	Consumo gas l/min	Costo gas/l (O2)	Consumo total	Costo \$/	
Fuelle	225 min	10 l/min	\$/	4.72	2250 L	10,620.00
Total					11,845.47	

Ahora, mostraremos el cálculo de costos asociados a una máquina de anestesia con tecnología de Turbina.

Tabla 8. Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Máquina de anestesia con ventilador de Turbina, con alto flujo.

Flujo Alto		Estimacion referencial.				
Fase		Duración [min]	Programación	% agente usado	A. Agent [mL]/caso	Costo S /
Inducción			Flujo [l/min]			
Preoxygenación	O ₂	3	10.00			141.60
Fase de alto flujo	O ₂	10	6.00			283.20
	N ₂ O	10	0.00			0.00
	Aire	10	0.00			0.00
			Vapor [Vol%]	[%]		
	Isoflurane	10	0.00	0%	0.00	0.00
	Sevoflurane	10	3.50	100%	11.29	8.46
	Desflurane	10	0.00	0%	0.00	0.00
						433.26
Cirugía			Flujo [l/min]			
	O ₂	200	2.00			1,888.00
	N ₂ O	200	0.00			0.00
	Aire	200	0.00			0.00
			Vapor [Vol%]	[%]		
	Isoflurane	200	0.00	0%	0.00	0.00
	Sevoflurane	200	2.50	100%	53.76	40.27
	Desflurane	200	0.00	0%	0.00	0.00
						1,928.27
Término			Flujo [l/min]			
	O ₂	15	5.00			354.00
	N ₂ O	15	0.00			0.00
	Aire	15	0.00			0.00
						354.00
Total de costos por casos						2,715.53
Costo de gas motriz para funcionar						
Tipo de Ventilador	Duración Anestesia	Consumo de Energía	Cost e energy [1kWh]	Consumo por cirugía	Costo S./	
Turbina	225 min	70 W	S/ 0.22	263 Wh		0.06
Total					2,715.58	

Tabla 9. Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Máquina de anestesia con ventilador de Turbina, con bajo flujo.

Flujo Bajo		Estimacion referencial.				
Fase	Duración [min]	Programación	% agente usado	A. Agent [mL]/caso	Costo S /	
Inducción		Flujo [l/min]				
Preoxygenación	O ₂	3	10.00			141.60
Fase de alto flujo	O ₂	10	6.00			283.20
	N ₂ O	10	0.00			0.00
	Aire	10	0.00			0.00
		Vapor [Vol%]	[%]			
	Isoflurane	10	0.00	0%	0.00	0.00
	Sevoflurane	10	3.50	100%	11.29	8.46
	Desflurane	10	0.00	0%	0.00	0.00
						433.26
Cirugía		Flujo [l/min]				
	O ₂	200	0.90			849.60
	N ₂ O	200	0.00			0.00
	Aire	200	0.00			0.00
		Vapor [Vol%]	[%]			
	Isoflurane	200	0.00	0%	0.00	0.00
	Sevoflurane	200	3.00	100%	29.03	21.75
	Desflurane	200	0.00	0%	0.00	0.00
						871.35
Término		Flujo [l/min]				
	O ₂	15	5.00			354.00
	N ₂ O	15	0.00			0.00
	Aire	15	0.00			0.00
						354.00
Total de costos por casos						1,658.60
Costo de gas motriz para funcionar						
Tipo de Ventilador	Duración Anestesia	Consumo de Energía	Cost e. energy [kWh]	Consumo por cirugía	Costo S /	
Turbina	225 min	70 W	S/ 0.22	263 Wh		0.06
Total						1,658.66

Tabla 10. Consumo promedio de oxígeno, sevoflurano y energía eléctrica en una Máquina de anestesia con ventilador de Turbina, con mínimo flujo.

Flujo Mínimo		Estimacion referencial.				
Fase	Duración [min]	Programación	% agente usado	A. Agent [mL]/caso	Costo S /	
Inducción		Flujo [l/min]				
Preoxygenación	O ₂	3	10.00			141.60
Fase de alto flujo	O ₂	10	6.00			283.20
	N ₂ O	10	0.00			0.00
	Aire	10	0.00			0.00
		Vapor [Vol%]	[%]			
	Isoflurane	10	0.00	0%	0.00	0.00
	Sevoflurane	10	3.50	100%	11.29	8.46
	Desflurane	10	0.00	0%	0.00	0.00
						433.26
Cirugía		Flujo [l/min]				
	O ₂	200	0.45			424.80
	N ₂ O	200	0.00			0.00
	Aire	200	0.00			0.00
		Vapor [Vol%]	[%]			
	Isoflurane	200	0.00	0%	0.00	0.00
	Sevoflurane	200	3.70	100%	17.90	13.41
	Desflurane	200	0.00	0%	0.00	0.00
						438.21
Término		Flujo [l/min]				
	O ₂	15	5.00			354.00
	N ₂ O	15	0.00			0.00
	Aire	15	0.00			0.00
						354.00
Total de costos por casos						1,225.47
Costo de gas motriz para funcionar						
Tipo de Ventilador	Duración Anestesia	Consumo de Energía	Cost e. energy [kWh]	Consumo por cirugía	Costo S /	
Turbina	225 min	70 W	S/ 0.22	263 Wh		0.06
Total						1,225.52

Se observa notoriamente la diferencia entre los costos de ambas tecnologías muy independiente de la metodología de flujo aplicado. El costo en oxígeno como gas motriz que se desperdicia en el medio ambiente es bastante significativo, como ya se había explicado en el presente trabajo. Los costos más altos se ven en la aplicación de flujos altos, haciendo la comparativa, en la tecnología de fuelle se gasta 5 veces más a la tecnología de turbina.

Los valores en la programación se pueden personalizar para la casuística de cada Hospital o Clínica, de igual forma los precios de los gases medicinales y anestésicos. Por lo tanto, esta herramienta aparte de mostrar de forma cuantitativa la mejora en costos de la maquina Perseus A500 de Dräger en el Hospital Goyeneche, también servirá para cualquier cliente de la empresa Dräger. Por último, se mostrará el resumen de lo obtenido gracias a la herramienta y una proyección en el ahorro. Para estos se sacó el valor referencial de operaciones al año del Hospital Goyeneche.

Tabla 11. Resumen de costos en los ventiladores de fuelle y turbina, y potencial de ahorro en los ventiladores con turbina.

Por:	 Ventilador con Fuelle	 Ventilador con Turbina	
Caso	Valor en Soles	Valor en Soles	% tiempo cirugía
Flujo alto	13,336	2,716	63%
Flujo bajo	12,279	1,659	27%
Flujo mínimo	11,845	1,226	10%
Resultado según tabla % metodo de anestesia	12,901	2,281	
Casos por año 6,000 (Valor referencial)			
Valor de funcionamiento de una Sala en 1 Año	19,351,725	3,421,812	
Costo potencial Sala/Año (*)		-15,929,913	
4 Salas			
Costo total por Año	77,406,900	13,687,248	
Costo Potencial Salas/Año		-63,719,652	
Ahorro potencial Salas/ 10 Años	0	-637,196,519	
Ahorro por Maquina de Anestesia con Turbina por año			15,929,913
Ahorro en 4 Maquinas con Turbina por año			63,719,652
Ahorro potencial en 4 Maquinas con Turbina, 10 años de vida útil			637,196,519

En el resumen se puede ver el costo que genera una máquina de tecnología de fuelle en un año, estamos hablando de S./ 19,351,725.00; una máquina de tecnología de turbina genera un costo de S./ 3,421,812.00, en el cual el Hospital Goyeneche de Arequipa se estaría ahorrando S./ 15,929,913.00.

El costo total tomando en cuenta las 4 salas de operaciones, si dichas salas tuvieran tecnología de fuelle, los costos generados serian de S./ 77,406,900 y si las 4 máquinas fueran de tecnología turbina, los costos generados serian de S./ 13,687,248.00, el ahorro generado por esta tecnología seria de S./ 63,719,652.00. Para el caso específico del Hospital Goyeneche, por tener dos máquinas Perseus A500, están ahorrando S./ 31,859,826 al año.

Es importante tener en cuenta esta proyección de ahorro, el Hospital Goyeneche por año está ahorrando S./ 15,929,913.00 con una maquina Perseus A500. Si las 4 salas de operaciones tuvieran Perseus A500, estamos hablando de un ahorro de S./ 63,719,652 por año. Ahora, si tomamos en cuenta el tiempo de vida útil del equipo biomédico, el Hospital Goyeneche tendría un potencial de ahorro de S./ 637,196,519.00, considerando 10 años como tiempo de vida útil de las máquinas de anestesia.

CAPÍTULO IV: REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIENCIA

En este capítulo se presenta mi valorización del trabajo de investigación en el contexto de la solución del problema planteado y de la importancia para el profesional de ingeniería de electrónica dedicado a la especialidad de Biomédica.

Este trabajo ha demostrado la exitosa implementación y además ha generado una serie de experiencias que han producido conocimiento en el Hospital y en la institución por la cual laboro. Vamos a referir las más relevantes:

- Se puso en práctica las herramientas diferenciadoras de la tecnología Perseus A500, las cuales demostró que benefician en salud y costos al Hospital: (i)Asistente de flujo bajo y mínimo, (ii)la turbina y (iii) Flush & dry
- Se puso en evidencia el dinero perdido por tener una tecnología de fuelle y lo ahorrado por sus máquinas Perseus A500 con tecnología de turbina.
- La importancia de que soliciten tener aire medicinal y un sistema de evacuación de gases en sus salas de operaciones.
- Los usuarios del centro quirúrgico pudieron ver la precisión en la entrega de volumen tidal de Perseus A500
- La recolección de la información para hacer la herramienta de cálculo de costos demora más de lo planeado debido a que cada vez más están empezando a utilizar anestesia TIVA, y el uso de la máquina de anestesia solo es para la ventilación mecánica y un mínimo en entregar agentes volátiles como el Sevoflurano.

Es importante mencionar el trabajo en equipo de todas las áreas involucradas de la empresa en que trabajo, un equipo motivado es altamente eficiente y aporta mucho al éxito del proyecto. Los doctores usuarios del Hospital tienen un papel importante debido a su constante capacitación, conocen de tecnología y siempre van a querer lo mejor para sus pacientes, también nos dieron facilidades para la instalación del equipo y la apertura en tiempo para las capacitaciones del uso.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El sistema de anestesia con tecnología de turbina Perseus A500 fue adecuadamente implementado y se comprobó satisfactoriamente sus características técnicas, de la misma forma que la herramienta de cálculo de costos asociados al sistema de anestesia, y sirvió para mejorar los resultados clínicos, costos asociados, satisfacción del personal y la atención al paciente; a partir del año 2019.

- Se evaluó las tecnologías de los sistemas ventilatorios de las máquinas de anestesia, comprobando que la más idónea es la tecnología de turbina. Para el Hospital Goyeneche con los requerimientos que solicita, la máquina ideal con tecnología de turbina es Perseus A500.
- Se instaló la máquina de anestesia Perseus A500 y se comprobó las características técnicas del equipo biomédico que brindan beneficios clínicos y técnicos. Todo se demostró usando el equipo en diferentes tipos de pacientes.
- Se demostró la precisión en la entrega de volumen tidal de Perseus A500 gracias a su turbina, teniendo una precisión mejor a la señalada en el manual de uso.
- Se cuantificó el consumo de oxígeno y sevoflurano en Perseus A500, al analizar los datos nos demuestra que Perseus A500 es una estación anestésica que disminuye notoriamente el consumo de Oxígeno, además que, si se usa la herramienta de flujos bajos y

mínimos, permitirá disminuir también el consumo de Sevoflurano.

- Se desarrollo exitosamente la herramienta de cálculo de costos de consumo de Perseus A500, la cual servirá para comparar lo que consume una máquina de tecnología de fuelle versus la de turbina, en el caso específico de Goyeneche, se puso en evidencia en dinero (soles) lo que ahorran teniendo Perseus A500 y los gastos excesivos por tener máquinas de fuelle. Esta herramienta también servirá como instrumento de ventas para la compañía en la que trabajo, ya que se puede personalizar para cada Clínica u Hospital.

5.2 Recomendaciones

Esta implementación se puede usar para cualquier clínica u hospital que adquiera la máquina de anestesia Perseus A500, de la misma forma con la herramienta desarrollada, solo se debe colocar los datos de los precios actuales de cada Hospital o Clínica.

- Se recomienda usar todas las herramientas y características de Perseus A500 para sacarle el máximo provecho a su tecnología.
- Se recomienda hacer los mantenimientos preventivos una vez al año.

5.3 Fuentes de Información

Aldrete JA (1987) Closed circuit anesthesia prevents moderate hypothermia occurring in patients having extremity surgery. The Circular 4, 3-4.(Baum, 2004)

Anger C, Van Bömmel T, Phadana-anek S Reich A, Büter J, Stahl H, Deitmer T (1990)

Baum, J. A. (2004). *Low Flow Anesthesia with Dräger Machines*. Lübeck: Drägerwerk AG & Co. KGaA.

Baum, J (2001) Low Flow Anesthesia: the theory and practice of low flow, minimal flow and closed system anesthesia. 2nd ed. Butterworth-Heinemann.

Bengtson JP, Bengtson A, Stenqvist O (1989) The circle system as a humidifier. Br J Anaesth 63, 453-7.

Camacho, J. (15 de Noviembre de 2017). Clase de máquina de anestesia. (O. s. clínica, Entrevistador)

Characteristics of the relative humidity and temperature in the inspiratory part of the Dräger circle system and their influence on the function of the ciliary epithelium. Anesth Intensivther Notfallmed 25, 107-11.

Christian Hönemann, B. M. (2016). *Anestesia de flujo bajo, flujo mínimo y flujo metabólico*. Lübeck: Drägerwerk AG & Co. KGaA.

Drägerwerk AG & Co. KGaA. (2016). *Conocimiento Tecnológico Ventilación Protectora en el Quirofano*. Lübeck: Drägerwerk AG & Co. KGaA.

Drägerwerk AG & Co. KGaA. (2017). *Conocimientos Tecnológicos Ventilación Pediátrica*. Lübeck,: Drägerwerk AG & Co. KGaA.

Drägerwerk AG & Co. KGaA. (2018). *Documentación técnica IPM Perseus A500 y Perseus A500 de techo*. Lübeck: Drägerwerk AG & Co. KGaA.

DrägerWerk AG & Co.KGaA. (2017). *Instrucciones de Uso Perseus A500*. Lübeck: DrägerWerk AG & Co.KGaA.

F. Fratebianchi, M. R. (2018). *Cuantificación del Consumo de Gases Anestésicos y*

Medicinales luego de la Incorporación de Estaciones de Trabajo Draeger Primus al Servicio de Anestesiología del HCJSM. Buenos Aires: Draeger Argentina.

Gómez Morant, J. (s.f.). Ventiladores de Maquina de Anestesia. (R. M. Ospina, Entrevistador)

G. Wallon, A. B. (2013). Delivery of tidal volume from four anaesthesia ventilators during volume-controlled ventilation: a bench study. *British Journal of Anaesthesia*, 1045-1051.

Henriksson BA, Sundling J, Hellman A (1997) The effect of a heat and moisture exchanger on humidity in a low- flow anaesthesia system. *Anaesthesia* 52, 144-9.

Herrerías, J. (2000). Ventiladores de Anestesia. *Servicio de Anestesiología, Reanimación y Terapia del Dolor. Hospital Comarcal de Vinaròs. Castellón.*, 299-308.

https://www.draeger.com/es_csa/Products/Perseus-A500

Kleemann PÁG (1994) Humidity of anesthetic gases with respect to low flow anaesthesia. *Anaesth Intensive Care* 22, 396-408.

Meier A, Jost M, Rüegger M, Knutti R, Schlatter C (1995) Narcotic gas cargo of personnel in pediatric anesthesia. *Anaesthesist* 44, 154-62.

Smith BE (1995). History of automated delivery of anesthetic agents. *Int Anesthesiol Clin* 33, 1-8.

5.4 Glosario

Adjudicación Simplificada	En líneas generales la adjudicación simplificada es un procedimiento de selección para la contratación de bienes, servicios y obras, por valores dentro de los límites especificados en la ley de presupuestos del sector público.
Agentes anestésicos	Son sustancias volátiles empleadas en algunos procedimientos quirúrgicos tanto sobre humanos como sobre animales para aumentar el umbral de sensibilidad al dolor y eliminar el estado de vigilia.
APRV	La ventilación con liberación de presión en la vía aérea (APRV) es una modalidad ventilatoria que utiliza presión positiva controlada en la vía aérea, con el fin de maximizar el reclutamiento alveolar
Autoclavable	Capaz de resistir la acción de una autoclave
Biomédica	La biomedicina es el estudio de la biología médica. Su objetivo fundamental es investigar los mecanismos moleculares, bioquímicos, celulares y genéticos de las enfermedades humanas.
Buena pro	Consiste en actividades administrativas para anunciar qué propuestas reciben el puntaje más alto en el proceso de licitación.
Cal sodada	La cal sodada es una mezcla de hidróxido de calcio e hidróxido de sodio que se utiliza como absorbente de dióxido de carbono (CO ₂).
Campo magnético propulsor	Es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas (flujo de la electricidad), el flujo decrece con la distancia a la fuente que provoca el campo.
Circuito anestésico	El circuito anestésico, (también llamado sistema anestésico, sistema o circuito respiratorios) es el conjunto de elementos que permiten la conducción de gases y/o vapores anestésicos al paciente y desde el paciente, siendo al mismo tiempo el medio a través del cual se establece el intercambio de gases

	respiratorios con el exterior.
Cirugía laparoscópica	La cirugía laparoscópica es una técnica quirúrgica en la que se inserta un tubo pequeño y corto (trocar) en la cavidad abdominal a través de una pequeña incisión (menos de un centímetro). Se insertan instrumentos largos y angostos a través de estos catéteres, que el cirujano usa para manipular, cortar y suturar tejidos.
Cloroformo	El cloroformo es un líquido incoloro altamente volátil, dulcemente perfumado, que es más conocido por su uso histórico como anestésico, aunque este empleo se ha ido abandonado debido a preocupaciones sobre su seguridad. Hoy en día, el cloroformo se usa en muchos procesos industriales, incluida la fabricación de productos químicos, refrigerantes y solventes.
CO2	El dióxido de carbono es un compuesto de carbono y oxígeno que se presenta como un gas incoloro en condiciones estándar de temperatura y presión.
Concertina o fuelle	Instrumento para recoger aire y lanzarlo con dirección determinada. En las máquinas de anestesia cuando el paciente realiza una exhalación el fuelle sube hasta la parte posterior de la cámara colectora, para impulsar el gas fresco hacia las vías pulmonares.
Compresión	Es la acción y efecto de comprimir. Este verbo significa a estrechar, apretar, oprimir o reducir a menor volumen.
CPAP	Presión Positiva Continua en la vía aérea (CPAP) es una modalidad de respiración espontánea, en la que se mantiene un nivel de presión positiva continua en todo el ciclo respiratorio para aumentar la capacidad residual funcional.
Espigas	Parte de una herramienta adelgazada para introducirla en el mango.
Éter etílico	Es un éter líquido, incoloro, muy inflamable, con un bajo punto de ebullición, de sabor acre y ardiente. El éter no se usa mientras haya otro anestésico disponible, por su inflamabilidad y porque es irritante para algunos pacientes.

Flujómetros	Un caudalímetro, medidor de flujo o flujómetro es un instrumento de medición para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido.
Frecuencia respiratoria	La frecuencia respiratoria es la cantidad de respiraciones que una persona hace por minuto
Gas fresco	El flujo de gas fresco es el flujo de gas que sale de la máquina de anestesia a través de los flujómetros o caudalímetros y que se mide en mililitros/minuto (ml/min) o en litros/minuto (l/min).
Gas motriz	Gas que acciona un ventilador pero que no es administrado al paciente.
Hipóxicas	Trastorno en el que hay una disminución del suministro de oxígeno a un tejido.
HPA/S	Es la unida Hectopascales sobre segundos.
Intercambio gaseoso	El intercambio de gases es el suministro de oxígeno de los pulmones a la sangre y la eliminación de dióxido de carbono de la sangre a los pulmones.
MAN / SPONT	Manual / Espontaneo: Modo que tienen las máquinas de anestesia que consiste en ventilar con la bolsa reservorio, regulando la presión máxima mediante la APL
Manivela	Pieza mecánica con forma de ángulo recto, que, al darle movimiento rotatorio con la mano, hace girar un eje y pone en funcionamiento un motor o mecanismo.
Mirilla	Pequeña abertura circular o longitudinal que tienen algunos instrumentos topográficos, y sirve para dirigir visuales.
Modos ventilatorios	Es la forma en que el respirador es configurado para interactuar con el paciente. El desarrollo de diferentes modos de ventilación tiene como objetivo mejorar la interacción entre el ventilador y el paciente.
Monitor de signos vitales	Un monitor de signos vitales es un dispositivo que permite detectar, procesar y desplegar en forma continua los parámetros fisiológicos del paciente.
N2O	Óxido Nitroso: También conocido como gas hilarante o gas de la risa, es un gas incoloro

	con un olor dulce y ligeramente tóxico, con efecto anestésico y disociativo. Produce una inducción rápida de la pérdida de conciencia y se utiliza como coadyuvante en la anestesia general, en asociación con otros anestésicos administrados por vía intravenosa o por inhalación
PBW	Peso corporal teórico o ideal es una medición corporal donde se compara el peso actual de la persona con referencia en tablas de valores, de acuerdo con su estatura o índice de masa corporal.
Pin -índex	Este es el tipo de válvula de seguridad que se utiliza en los hospitales y áreas médicas. Se usa menos torque para cerrar y sellar la válvula, pero el diseño está hecho con lados planos para que pueda cerrarse con una llave adecuada.
Pinsp máx.	Presión inspiratoria máxima: es la máxima presión alcanzada en la vía aérea cuando el respirador introduce aire en el paciente.
Pistón electrónico	Sistema ventilatorio accionado electrónicamente, sin necesidad de gas motriz. Su principio de funcionamiento es producir un desplazamiento del pistón, de acuerdo con el volumen programado, y empujar el aire almacenado a la rama inspiratoria.
Presión Control	También llamado modo controlado por Presión es un modo ventilatorio que consiste en la aplicación de una presión inspiratoria, un tiempo inspiratorio, la relación I: E y la frecuencia respiratoria, todas programadas por el médico.
Presión soporte	La modalidad de Presión de Soporte (PSV) es una forma de ventilación asistida, en la que el paciente dispara al ventilador respiración a respiración. El médico decide qué nivel de presión se debe suministrar, la cual será mantenida durante todo el ciclo inspiratorio espontáneo del paciente.
Reclutamiento pulmonar	El concepto de reclutamiento hace referencia a la utilización de aumentos prolongados de la presión en la vía aérea para lograr la apertura y reexpansión del parénquima pulmonar

	colapsado.
RCT (randomized controlled trial)	Es un ensayo aleatorio controlado (RCT) proporciona la evidencia médica más convincente, y se considera que es la manera más confiable de saber si una determinada prueba o tratamiento funciona.
SDRA (Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo)	Afección caracterizada por una acumulación de líquido en los sacos de aire de los pulmones que no permite que el oxígeno llegue a los órganos.
Sensores Hall	Los sensores de efecto Hall, o simplemente sensores Hall o sondas Hall (llamados así por Edwin Herbert Hall), utilizan el efecto Hall para medir o localizar campos magnéticos o corrientes.
Sevoflurano	El sevoflurano es un anestésico general que se utiliza en cirugía tanto en adultos como en niños. Es un anestésico de inhalación (se administra en forma de vapor para inhalación).
T alto	Tiempo en el nivel de presión superior.
T bajo	Tiempo en el nivel de presión inferior.
TIVA (Anestesia Total Intravenosa)	La Anestesia Total Intravenosa (TIVA) es una técnica de anestesia general que usa una combinación de fármacos administrados exclusivamente por vía intravenosa sin usar fármacos por vía inhalatoria (anestesia con gases).
UCI (Unidad de Cuidados Intensivos)	Una unidad de cuidados intensivos, unidad de vigilancia intensiva, unidad de cuidados críticos, centro de tratamiento intensivo, unidad de medicina intensiva o unidad de terapia intensiva es una instalación especializada dentro del área del hospital que brinda medicina intensiva.
Válvula APL	La válvula de limitación de presión ajustable (APL) es una válvula ajustable por el usuario que libera gases a un sistema de evacuación
Vaporizadores	Los vaporizadores de anestesia son elementos diseñados para convertir el fluido anestésico en su fase gaseosa y facilitar la conversión añadiendo una cantidad controlada de vapor al flujo de gas que llega

	al paciente a través del circuito respiratorio o de un dispositivo.
Ventilación asistida o controlada	La ventilación mecánica (VM) se conoce como todo procedimiento de respiración artificial que emplea un aparato para suplir o colaborar con la función respiratoria de una persona, que no puede o no se desea que lo haga por sí misma, de forma que mejora la oxigenación y también afecta a la mecánica pulmonar.
Ventilación controlada por Volumen	En este tipo de ventilación, el flujo inspiratorio y el volumen corriente son constantes, y la presión es variable y depende de la resistencia de las vías respiratorias y la distensibilidad pulmonar.
Ventilación espontánea	Este método se utiliza cuando el paciente tiene una inspiración y espiración espontánea y se puede retirar el ventilador mecánico, permitiendo que el paciente respire sin asistencia médica durante un breve periodo de tiempo de (15- 30 minutos)
Ventilador mecánico	Un respirador o ventilador es una máquina con una turbina interna que genera un flujo de aire a presión introducido en la vía aérea mediante un tubo y una mascarilla. El mecanismo consiste en introducir (inspiración) y sacar aire de los pulmones (exhalación) a intervalos (respiraciones) y en una cantidad predeterminada. El objetivo es poder entregar oxígeno a las células, reemplazando o ayudando parcialmente al paciente a respirar normalmente.
Volumen corriente o tidal	El volumen corriente o tidal (VC) es el volumen de aire que circula entre una inspiración y espiración normal sin realizar un esfuerzo adicional.
Volumen reflector	Reflector de Volumen es un dispositivo que permite la reinhalación parcial de los gases espirados.
PEEP (Presión Positiva al Final de la Espiración)	La PEEP es una presión positiva al final de la espiración que impide que ésta retorne a la presión atmosférica y previene el colapso de las vías respiratorias y de ese modo reduce la atelectasia.

Yugo	El yugo es el segundo límite de presión principal de una válvula. Está hecho por fundición o forjado del mismo material que el cuerpo y está conectado al cuerpo mediante una junta roscada, empernada o soldada.
------	---

CAPITULO VI: ANEXOS

Anexo 1: ACTA DE RECEPCION DE LA MAQUINA DE ANESTESIA PERSEUS A500 EN EL HOSPITAL GOYENECHÉ




FORMATO E

ACTA DE RECEPCION DE EQUIPO

REFERENCIA

Contratista : DRAEGER PERU S.A.C.

Establecimiento de Salud : GRA. HOSPITAL GOYENECHÉ

Referencia : ADJUDICACIÓN SIMPLIFICADA N° 012-2019-HG,

A los 15 días del mes de Noviembre del 2019 se ha verificado las especificaciones técnicas e Instalación del siguiente equipo (realizado por el contratista):

Equipo : MAQUINA DE ANESTESIA ELECTRONICA CON MONITOREO AVANZADO

Marca : DRAGER

Modelo : PERSEUS + IACS

Serie : ASMK-0163 + 5613324466

Quedando el equipo operativo

NOTA: Se entregara a la Oficina de Mantenimiento y Servicios Generales del Hospital Goyeneche: 02 juegos de manuales de usuario y servicio (originales). 02 videos de desmontaje y operación de equipo). 02 cartillas de instrucciones.

En conformidad a lo descrito firman



HOSPITAL III GOYENECHÉ
Dr. Alvin Avendaño Vizcarra
Jefe de Mantenimiento y Servicios Generales
CNP 19438 RNE 19410

Jefe del Servicio



GOBIERNO REGIONAL AREQUIPA
GERENCIA REGIONAL DE SALUD
HOSPITAL III GOYENECHÉ
Srta. Lady Elizabeth Escalante Torres
Jefe de la Unidad de Almacén

Jefe de la Unidad de Almacén



GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA
GERENCIA REGIONAL DE SALUD
HOSPITAL III GOYENECHÉ
Mr. Eduardo R. Saavedra Vizcarra
Jefe de la Oficina de Servicios Generales y Mantenimiento

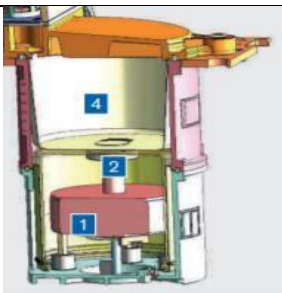
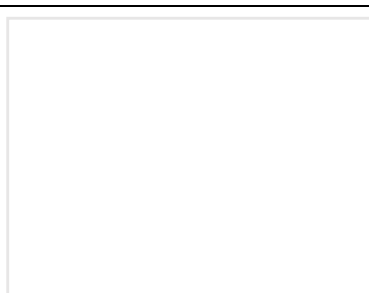
Oficina de Mantenimiento



Dräger Perú S.A.C.
Henry Cárdenas Sandoval
SALES REPRESENTATIVE

Representante de la Empresa

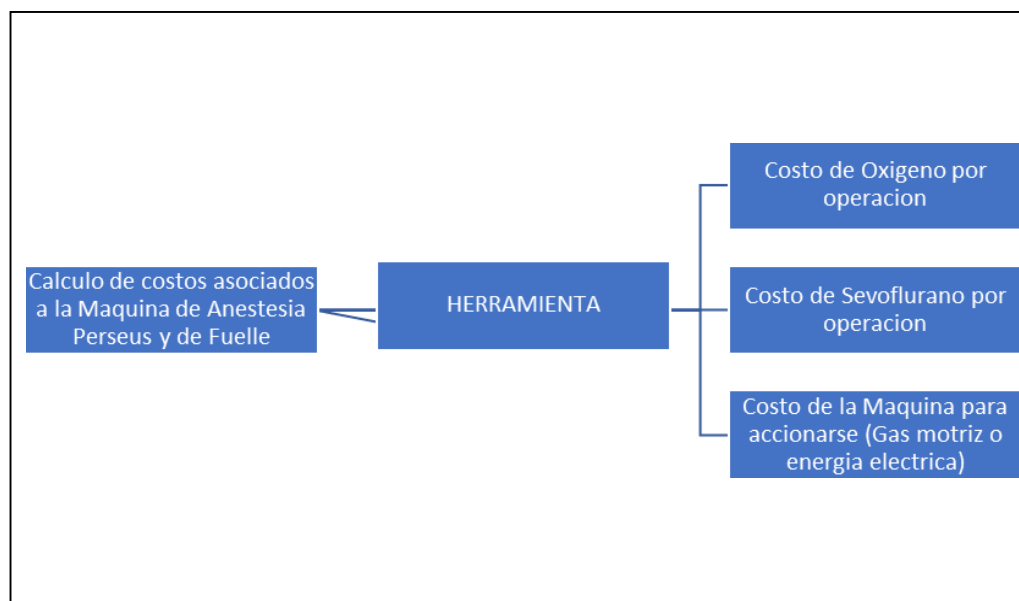
Anexo 2: TECNOLOGÍAS DE VENTILADORES EN MÁQUINAS DE ANESTESIA.

TECNOLOGIAS DE VENTILADORES EN ANESTESIA	
Concertina (Fuelle)	Volumen Reflector
	
Impulso para accionarse: Gas motriz (Oxigeno o Aire)	Impulso para accionarse: Oxigeno
Piston Electronico	Turbina
	
Impulso para accionarse: Energia electrica	Impulso para accionarse: Energia electrica

Anexo 3: CLASIFICACIÓN DE LOS FLUJOS DE GAS FRESCO EN ANESTESIA.

Flujos	Rangos
Flujo metabólico	< 250 mL/min
Flujo mínimo	250 a 500 mL/min
Flujos bajos	500 a 1,000 mL/min
Flujos medios	1 a 2 L/min
Flujos altos	2 a 4 L/min
Flujos muy altos	> 4 L

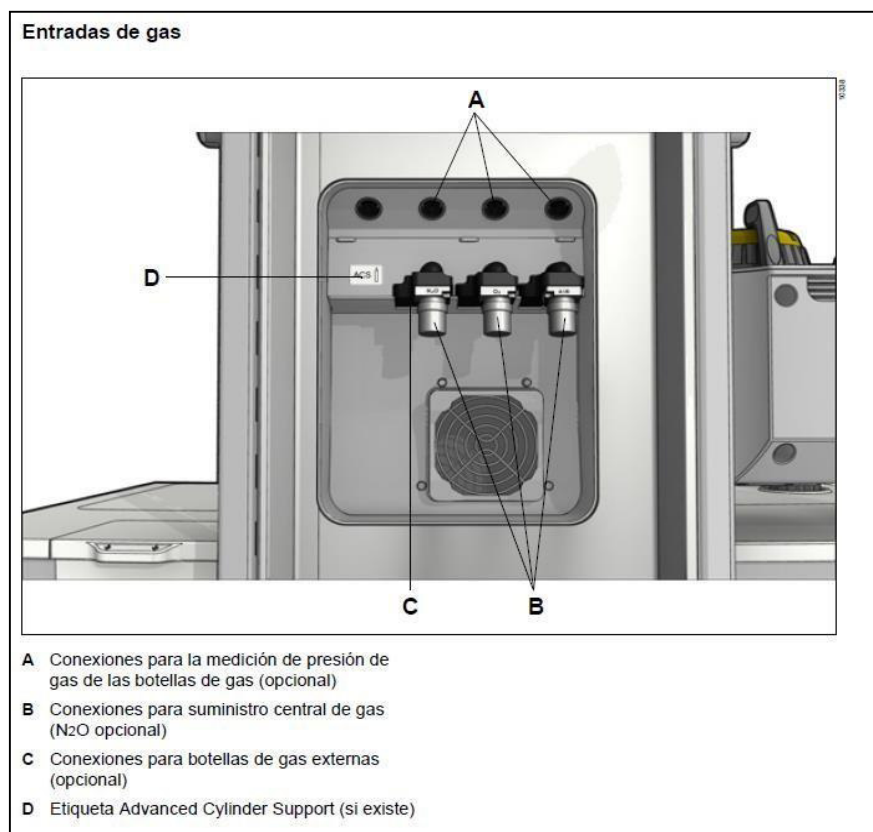
Anexo 4: ESQUEMA DE FUNCIONES DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA.



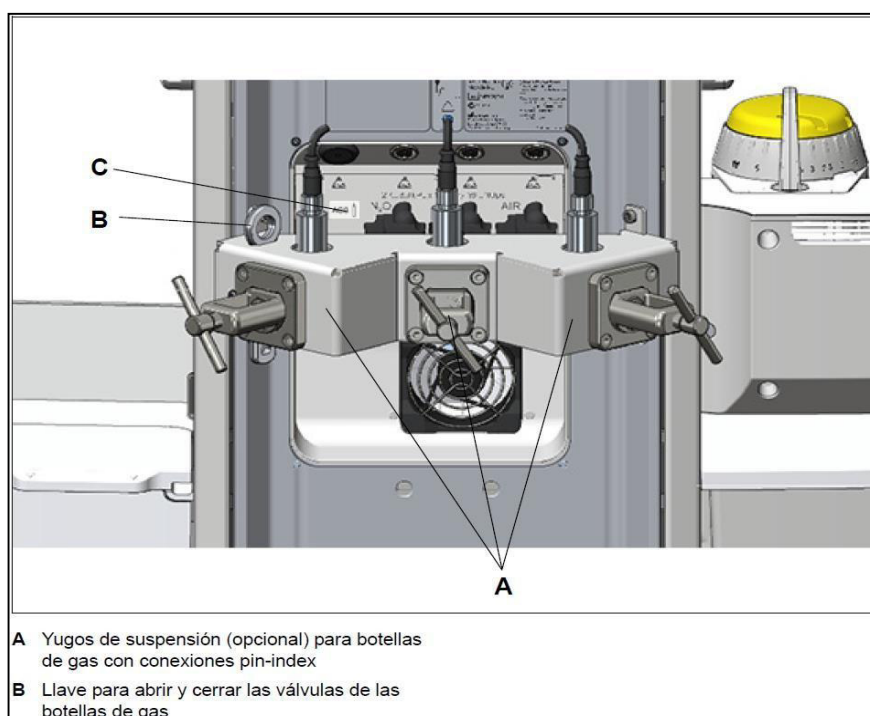
Anexo 5: CUADRO COMPARATIVO DE PERSEUS A500 VS ZEUS IE.

Zeus IE VS Perseus A500		
MODELOS:		
	PERSEUS A500	ZEUS IE
Categorías de pacientes	Adultos, Niños y Neonatos	Adultos, Niños y Neonatos
Tecnología de ventilación	Tecnología de turbina TurboVent 2	Tecnología de turbina TurboVent 2
Soporte para ajustes de flujo mínimo y bajo	Nivel de llenado visible de la bolsa; econometro; asistente de flujo bajo; Vapor View; Predicción de FiO2	Guía anestésica por consumo de oxígeno (sistema cerrado)
Modo ventilatorio APRV	SI	NO
Pantalla de Visualización	Pantalla táctil de 15,3"	Pantalla táctil de 20"
Vaporizador	Vapor 3000	Modulo DIVA
Sistema respiratorio	Semicerrado	Cerrado, modo bucle cerrado
Tiempo normal de autonomía de la batería en caso de corte del suministro eléctrico	150 min.	max 90 min.

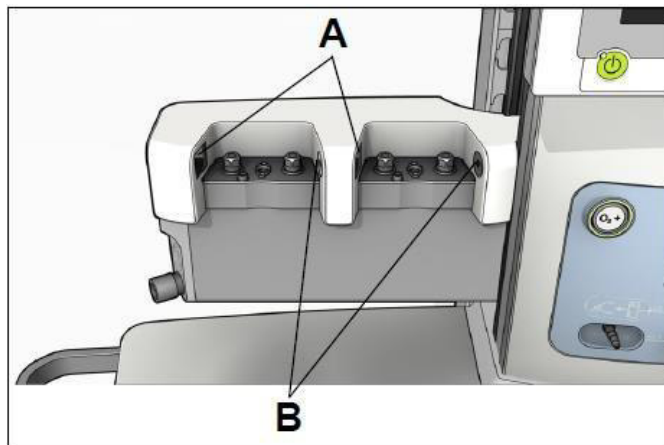
Anexo 6: ENTRADAS DE GAS DE PERSEUS A500.



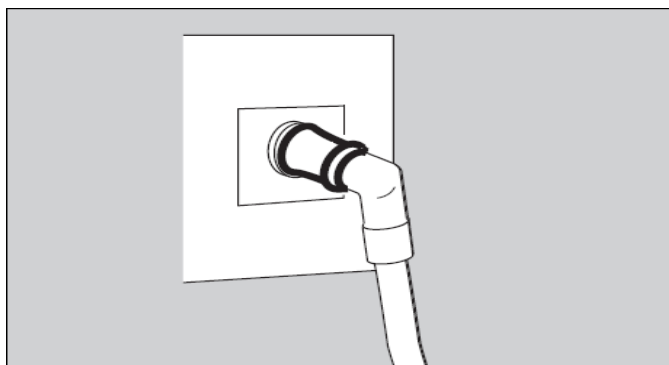
Anexo 7: ENTRADAS PARA BALONES DE EMERGENCIA DE PERSEUS A500.



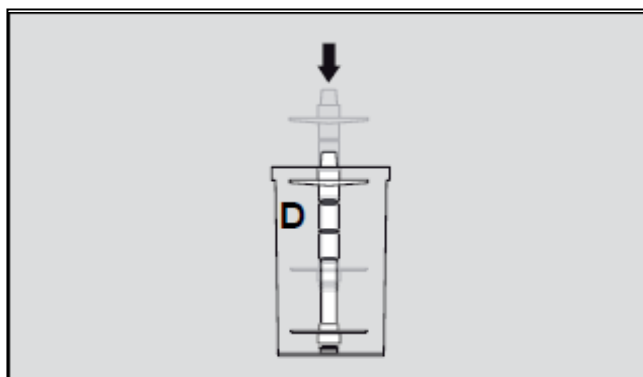
Anexo 8: CONECTOR PARA VAPORIZADORES.



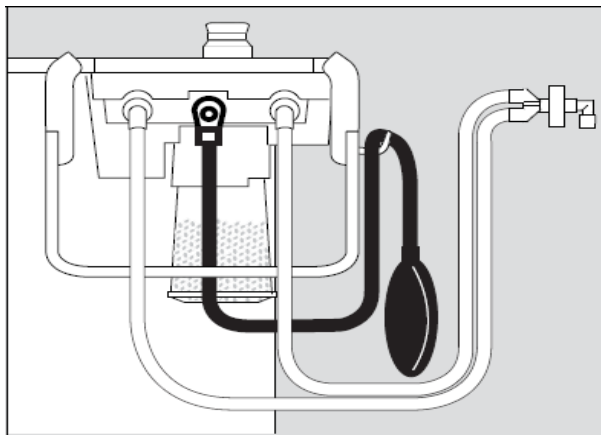
Anexo 9: CONEXIÓN DE LA MANGUERA DEL AGS AL SISTEMA DE EVACUACIÓN.



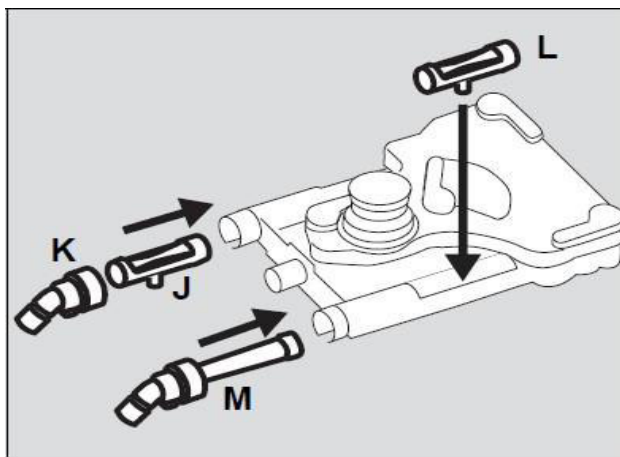
Anexo 10: INSERTO DEL ABSORBEDOR DENTRO DEL CANISTER.



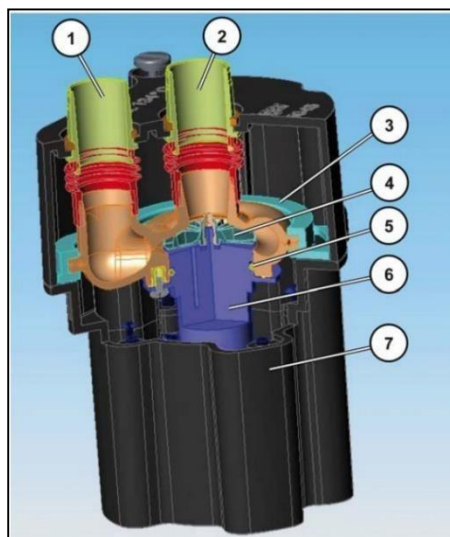
Anexo 11: CIRCUITO RESPIRATORIO INSTALADO.



Anexo 12: COLOCACIÓN DE SENSORES DE FLUJO EN EL SISTEMA VENTILATORIO.



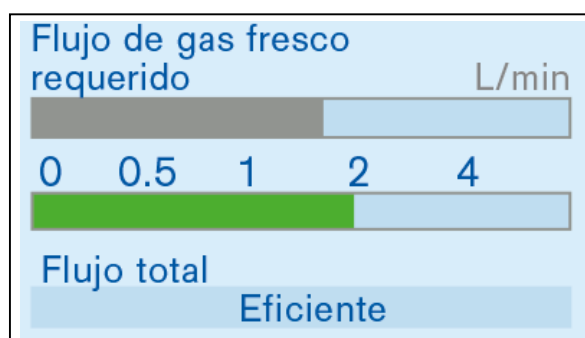
Anexo 13: ESQUEMA DEL VENTILADOR TURBOVENT 2.



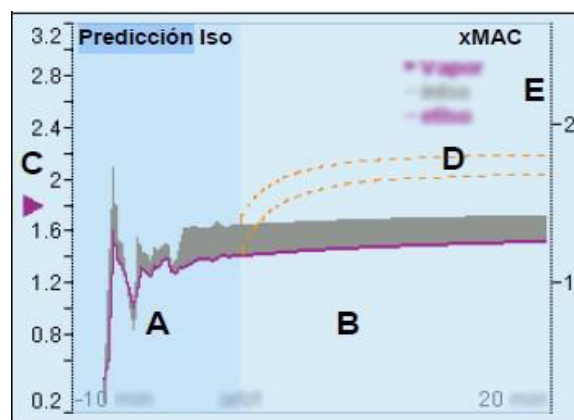
Anexo 14: ECONÓMETRA DE PERSEUS A500.



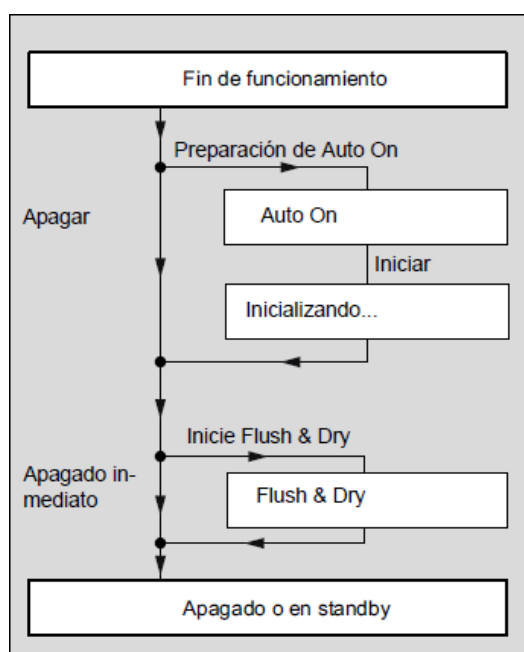
Anexo 15: ASISTENTE DE FLUJO BAJO.



Anexo 16: PREDICCIÓN DE AGENTE ANESTÉSICO.



Anexo 17: DIAGRAMA DE BLOQUES DE AUTO ON Y FLUSH & DRY.



Anexo 18: IMÁGENES DE LOS VOLÚMENES TIDALES PROGRAMADOS Y ENTREGADOS POR LA MAQUINA DE ANESTESIA PERSEUS A500

Anexo 18.1 Volumen Tidal programado de 50 ml y volumen tidal entregado de 49 ml.



Anexo 18.2 Volumen Tidal programado de 75 ml y volumen tidal entregado de 74 ml.



Anexo 18.3 Volumen Tidal programado de 100 ml y volumen tidal entregado de 99 ml.



Anexo 18.4 Volumen Tidal programado de 150 ml. y volumen tidal entregado de 149 ml.



Anexo 18.5 Volumen Tidal programado de 210 ml. y volumen tidal entregado de 208 ml.



Anexo 18.6 Volumen tidal programado de 290 ml. y volumen tidal entregado de 291 ml.



Anexo 18.7 Volumen tidal programado de 320 ml. y volumen tidal entregado de 320 ml.



Anexo 18.8 Volumen tidal programado de 340 ml. y volumen tidal entregado de 338 ml.



Anexo 18.9 Volumen tidal programado de 380 ml. y volumen tidal entregado de 381 ml.



Anexo 18.10 Volumen tidal programado de 410 ml. y volumen tidal entregado de 411 ml.



Anexo 18.11 Volumen tidal programado de 440 ml. y volumen tidal entregado de 440 ml.



Anexo 18.10 Volumen tidal programado de 450 ml. y volumen tidal entregado de 450 ml.



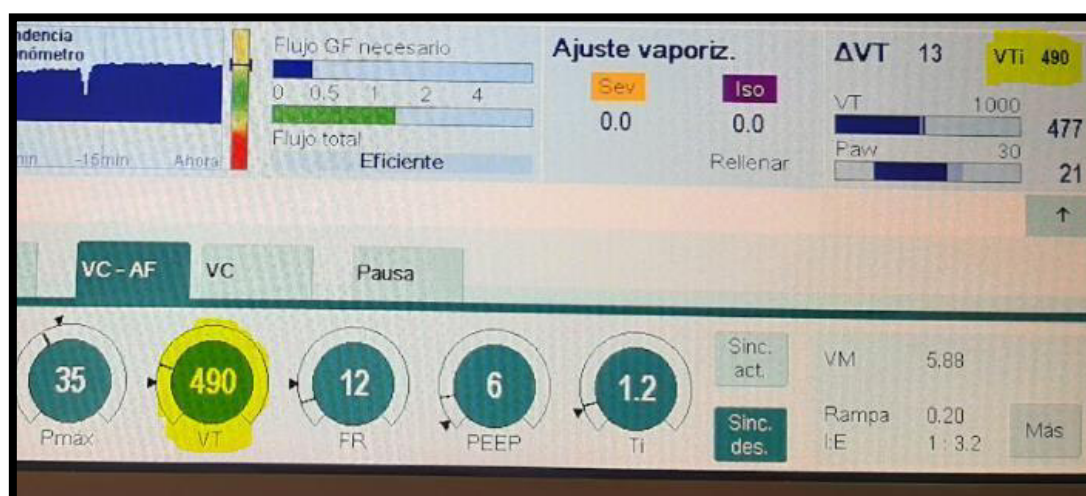
Anexo 18.11 Volumen tidal programado de 460 ml. y volumen tidal entregado de 459 ml.



Anexo 18.12 Volumen tidal programado de 480 ml. y volumen tidal entregado de 481 ml.



Anexo 18.13 Volumen tidal programado de 490 ml. y volumen tidal entregado de 490 ml.



Anexo 18.14 Volumen tidal programado de 510 ml. y volumen tidal entregado de 510 ml.



Anexo 18.15 Volumen tidal programado de 540 ml. y volumen tidal entregado de 540 ml.



Anexo 18.16 Volumen tidal programado de 560 ml. y volumen tidal entregado de 560 ml.



Anexo 18.17 Volumen tidal programado de 570 ml. y volumen tidal entregado de 570 ml.



Anexo 18.18 Volumen tidal programado de 610 ml. y volumen tidal entregado de 610 ml.



Anexo 18.19 Volumen tidal programado de 640 ml. y volumen tidal entregado de 641 ml.



Anexo 18.20 Volumen tidal programado de 710 ml. y volumen tidal entregado de 710 ml.



Anexo 18.21 Volumen tidal programado de 730 ml. y volumen tidal entregado de 731 ml.



Anexo 18.22 Volumen tidal programado de 760 ml. y volumen tidal entregado de 760 ml.



Anexo 18.23 Volumen tidal programado de 780 ml. y volumen tidal entregado de 782 ml.



Anexo 18.24 Volumen tidal programado de 800 ml. y volumen tidal entregado de 801 ml.



Anexo 18.25 Volumen tidal programado de 830 ml. y volumen tidal entregado de 830

