

Diseño y simulación de equipo medico quirúrgico

Iván Zambrano, Ricardo Soto, Adrián Haro y Mariela Cordero

Departamento de Ingeniería Mecánica

Resumen

El sector de la salud en nuestro país enfrenta problemas económicos, estructurales, de infraestructura, de recursos humanos especializados, faltas de planificación y en consecuencia entrega resultados deficientes; esto, se concreta en la mala calidad de atención médica que la sociedad recibe, sobre todo en el caso de las personas de escasos recursos económicos. La función de la universidad ecuatoriana es brindar el soporte técnico correspondiente y sobre todo investigar e innovar para encontrar soluciones a los problemas nacionales. Por lo expuesto la universidad debe encontrar las estrategias necesarias para diseñar y construir equipo médico a bajo costo, con recursos y materiales accesibles a nivel nacional.

El proyecto semilla en mención propone el diseño, simulación y construcción de un prototipo de una mesa quirúrgica y el diseño y simulación de una máquina de anestesia. La mesa quirúrgica requiere al menos 8 grados de libertad y por tanto presenta un cierto grado de complejidad; es posible conseguir resultados satisfactorios a través de un proceso de diseño concurrente en el cual se apliquen las herramientas adecuadas y se faciliten los rediseños necesarios para mejorar los primeros intentos. No existe antecedentes de desarrollo de máquinas de anestesia, le corresponde a la universidad esta tarea tratándose de equipos indispensables para la salud, que permiten mejorar la calidad de vida de la sociedad ecuatoriana.

En la mesa quirúrgica se aplica los fundamentos del diseño adoptivo a fin de disminuir los costos de producción, al tratarse de un prototipo lo importante es comprobar la funcionalidad requerida en cada uno de los módulos, un trabajo posterior deberá optimizar el peso y las variables dependientes de la resistencia de cada uno de los elementos.

Palabras claves: mesa quirúrgica, máquina anestesia, diseño, simulación.

Abstract

The health sector in our country is facing economic problems, structural, infrastructure, skilled human resources, lack of planning and delivery accordingly poor results, this consists of the poor quality of care received by the company, especially in the case of persons of limited economic resources. The role of the Ecuadorian university is to provide technical support and especially for research and innovation to find solutions to national problems. For these reasons the university must find strategies to design and build low-cost medical equipment, resources and materials available nationwide.

The draft seed in mention proposes the design, simulation and construction of a prototype of an operating table and the design and simulation of an anesthesiast machine. The operating table presents at least 8 degrees of freedom and therefore maintains a certain degree of complexity; it is possible to achieve satisfactory results through a process of concurrent design in which they apply the proper tools and to facilitate the redesigns needed to improve the first attempts. The anesthesia machine has no precedent in the country of attempts to be developed, it is up to the university this task in the case of essential equipment for health and for improving the quality of life of Ecuadorian society.

In the operating table applies the foundations of the design adoptive in order to reduce production costs, as it is a prototype the important thing is to check the functionality required in each of the modules, a subsequent work must optimize the weight and dependent variables of the resistance of each of the elements.

Keywords: Operating table, anesthesia machine, design, simulation.

1 Introducción

En el área médica la tendencia ha sido implementar la tecnología moderna en los equipos ya existentes, mejorando su aspecto, facilitando su uso, incrementando la seguridad, entre otras características, es decir ha significado un avance importante pero también un incremento en los costos de adquisición.

En el Ecuador la mayor parte del equipo médico utilizado es importado. El trabajo realizado propone el desarrollo de un prototipo de una mesa quirúrgica manual y el diseño y simulación de un equipo de anestesia, los dos sistemas reúnen las características exigidas por los usuarios (médicos, enfermeras, auxiliares).

El diseño de máquinas y específicamente de equipo médico es una tarea compleja que demanda la participación de técnicos multidisciplinares, facilidades para la construcción y ensamblaje, espacios y herramientas suficientes entre otros requerimientos. Es importante continuar el trabajo con los rediseños necesarios hasta obtener

un producto aceptable y de calidad, este procedimiento se sigue en cualquier lugar del mundo porque el diseño es una tarea iterativa. El estudio y desarrollo de equipo médico en el Ecuador es una actividad inédita con profundo contenido social, razón por la cual merece un apoyo importante y permanente.

Con la aplicación de herramientas como la casa de la calidad se determinan las especificaciones técnicas para la mesa quirúrgica manual y equipo de anestesia (Tabla 1 y 2). Las posiciones que debe adoptar la mesa quirúrgica se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 1. Especificaciones Técnicas de la Mesa Quirúrgica Manual

Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C+Di	R	Posicionar convenientemente a un paciente durante una intervención quirúrgica.
	C+Di	R	Soportar el peso del paciente. 130 - 140 kg
	C+Di	R	Soportar cargas de impacto ocasionales. 10 - 30 kg
	C+Di	R	Prestar comodidad a los médicos en las intervenciones quirúrgicas.
	C+Di	R	Capacidad de desplazamiento para facilitar limpieza.
	C+Di	R	Tener mecanismos de aseguramiento en las diferentes posiciones.
	C+Di	R	Prestar seguridad y confort al paciente.
Dimensión	C	R	Largo = 1900 mm Ancho = 540 mm Altura mínima = 750 mm Altura máxima = 1000 mm
Posiciones	C	R	Trendelenburg (ángulo máximo de inclinación 20°).
	C	R	Trendelenburg Inverso (ángulo máximo de inclinación 20°).
	C	R	Transferencia Lateral (ángulo máximo de inclinación 25°).
	C	R	Mayo-Kidney o Flexión Abdominal (ángulo máximo de inclinación 10° y 20°).
	C	R	Lordosis - Kidney (ángulo máximo de inclinación 10° y 20°).
	C	R	Genito -Urinaría (ángulo máximo de inclinación 90°).
	C	R	Otras posiciones (ángulo máximo de inclinación 70° y 40°).
Materiales	C+Di	R	Materiales inoxidables
Fuerzas	Di	R	Peso del paciente 150 kg Carga de impacto 30 kg
Vida útil y mantenimiento	Di	R	En operación: 10 años


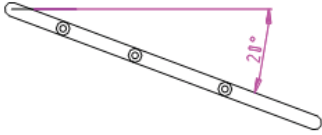
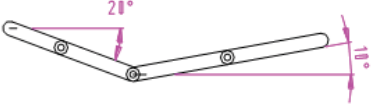
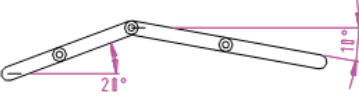
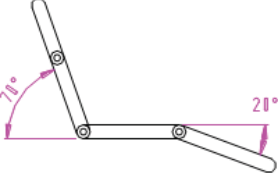
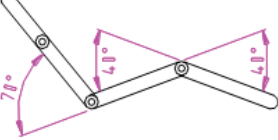
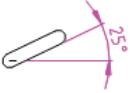

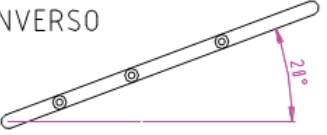
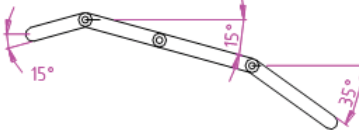
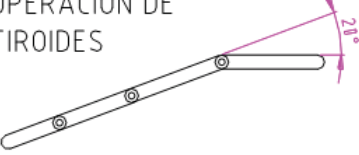
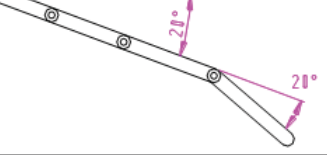
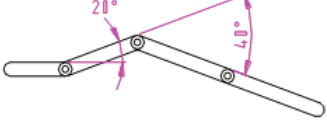
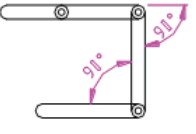
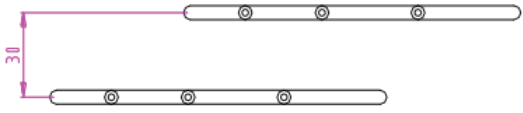
Propone: C=Cliente; Di=Diseño; R/D: R=Requerimiento; D=Deseo

Tabla 2. Especificaciones Técnicas del Equipo de Anestesia

Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C+Di	R	Administrar de manera segura cantidades determinadas de vapor anestésico, oxígeno y óxido nitroso.
	C+Di	R	Remover el CO ₂ exhalado.
	C+Di	R	Proporcionar una trayectoria de baja resistencia que permita una fácil inhalación de la mezcla de gases.
Energía	C+Di	R	Energía eléctrica requerida 110 V
	C+Di	R	Es necesario un sistema de emergencia en caso de interrupción del suministro externo.
	C+Di	R	Accionamiento neumático para el ventilador
Seguridad	C+Di	R	Alarma audible y visible para reportar caída de presión de oxígeno.
	C+Di	R	Filtros en las conexiones de entrada del equipo de anestesia, para evitar el paso de partículas perjudiciales para el paciente
Vida útil y mantenimiento	C+Di	R	En operación: diez años
	C+Di	R	Revisión diaria de presiones y capacidades de los tanques y la condición de cal sodada por el anestesiólogo encargado.
	C+Di	R	Mantenimiento preventivo realizado por personal calificado, coordinado y programado por el responsable de la unidad de quirófanos.

Propone: C=Cliente; Di=Diseño; R/D: R=Requerimiento; D=Deseo

Tabla 3. Especificaciones Técnicas del Equipo de Anestesia

<p>HORIZONTAL</p> 	<p>TRENDELEMBURG</p> 
<p>FLEXION ABDOMINAL</p> 	<p>FLEXION ABDOMINAL</p> 
<p>SENTADO</p> 	<p>SEMISENTADO</p> 
<p>TRANSFERENCIA</p> 	<p>TRANSFERENCIA</p> 
<p>TRENDELEMBURG INVERSO</p> 	<p>SEMIFLEXION</p> 
<p>OPERACION DE TIROIDES</p> 	<p>RECUPERACION</p> 
<p>RECUPERACION</p> 	<p>LITOTOMICA (POSICION MANUAL)</p> 
<p>DESPLAZAMIENTO VERTICAL</p> 	

2 Material

Los materiales usados en la construcción del prototipo de mesa quirúrgica manual son los siguientes:

- En acero inoxidable AISI 304: estructuras y pernos
- En grilón: bocines y arandelas
- En Poliuretano: garruchas hospitalarias
- En caucho duro: ruedas
- En acero A-36: Pivotes y soportes, estructura módulos del paciente
- En acero de transmisión: ejes y manzanas

Las máquinas utilizadas en la construcción del prototipo de la mesa quirúrgica manual son:

- Máquinas herramientas universales
- Rectificadora
- Soldadora SMAW, TIG, otros.

Una de las herramientas más importantes en el momento de realizar los estudios del equipo de anestesia es el software utilizado para la simulación del equipo de anestesia LABVIEW8.5.

3 Métodos

El alcance original del proyecto era el diseño y simulación de un prototipo de mesa quirúrgica, a fin de comprobar objetivamente los módulos diseñados se decidió realizar la construcción de un prototipo con dos opciones.

Con el propósito de disminuir los costos del equipo médico en referencia, en forma complementaria se aplica los fundamentos del Diseño Adoptivo, aprovechando las ventajas de la economía de escala en los grandes procesos de producción.

El desarrollo del proceso de diseño se basa en la técnica propuesta por Lawrence D. Miles, cuyo propósito es el de separar la acción que se efectúa del componente, para de este modo buscar nuevas soluciones a un mismo problema [1].

En la aplicación de este método se debe identificar las funciones principales y las funciones secundarias del equipo médico desarrollado. Las funciones primarias son aquellas por las que el cliente compra el producto,

que en este caso es la de posicionar la mesa quirúrgica para operaciones en quirófano. Las funciones secundarias son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente, y son las que mediante este análisis se determinarán.

Una vez establecidas todas las funciones se procede a plantear posibles soluciones, para luego seleccionar las más convenientes. Las funciones pueden ser agrupadas, con el fin de obtener módulos que sean capaces de cumplir un conjunto de funciones, obteniéndose así un diseño modular.

La descomposición funcional del producto se lleva a cabo mediante diagramas de flujo en los que aparece cada función que puede tener tres tipos de entradas y salidas: señal, material y energía. Los diagramas de flujo se presentan en diferentes niveles, comenzando con la función global, y continuando hasta el nivel que se estime conveniente. Con el mismo criterio, se procede a establecer un análisis modular del equipo de anestesia.

La función global, que representa el nivel 0, de la mesa quirúrgica manual y el equipo de anestesia se muestra en las figuras 1 y 2.

Diseño Modular-Nivel 0: mesa quirúrgica

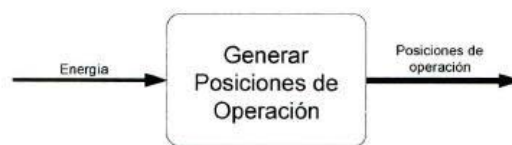


Figura 1. Diagrama funcional mesa quirúrgica manual
Diseño Modular-Nivel 0: máquina anestesia

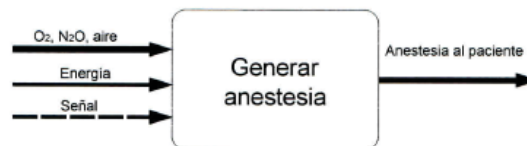


Figura 2. Diagrama funcional equipo de anestesia

La modularidad consiste en dividir al producto en varios bloques (módulos) funcionales o constructivos. El diseño de productos tomando en cuenta la modularidad ayuda enormemente en varios aspectos tales como la reducción de costes, la facilidad de mantenimiento, la ampliación de la gama y facilidad de producción, entre otros.

Los módulos tanto de la mesa quirúrgica como del equipo de anestesia se muestran en las figuras 3 y 4 respectivamente.

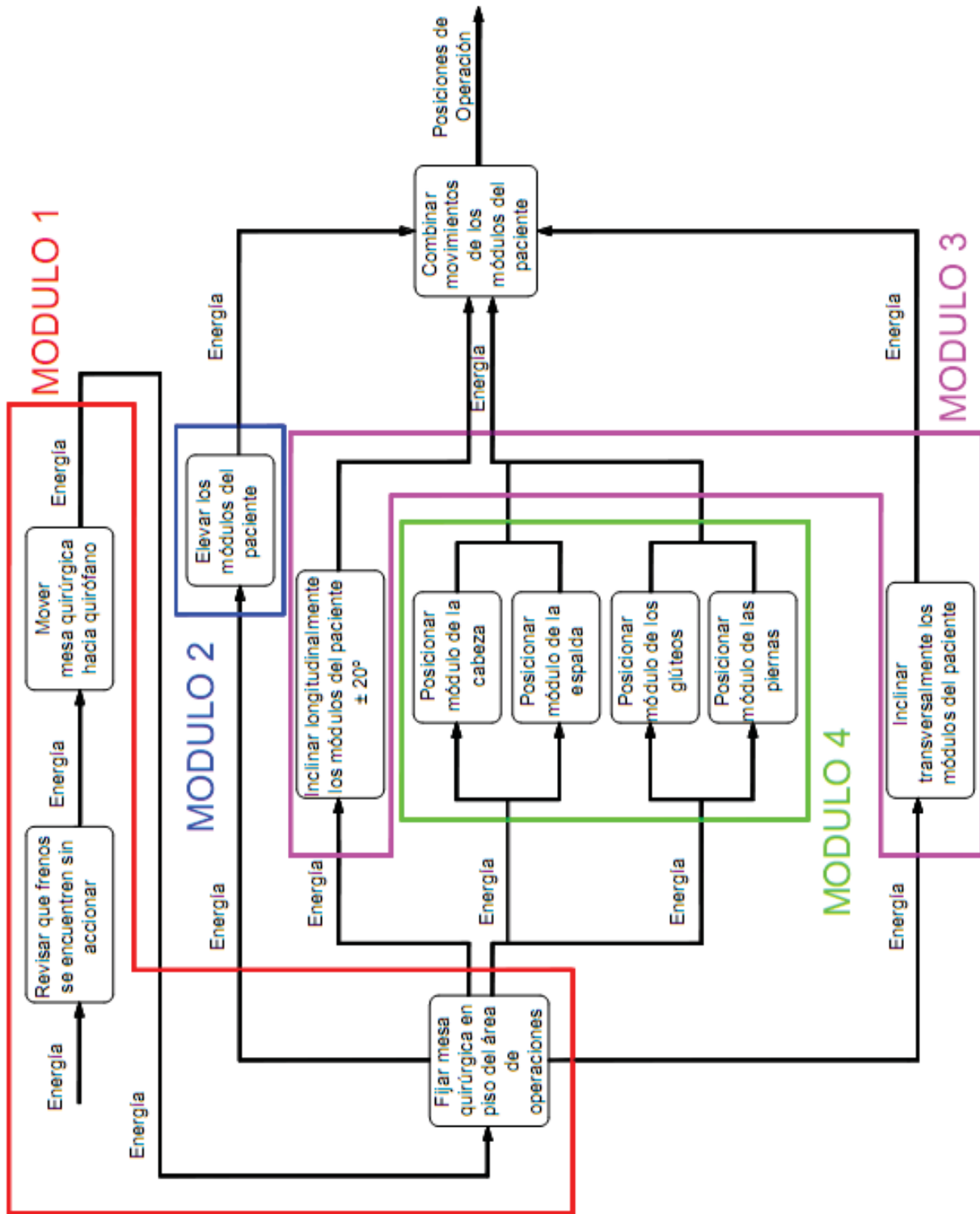


Figura 3. Estructura modular mesa quirúrgica

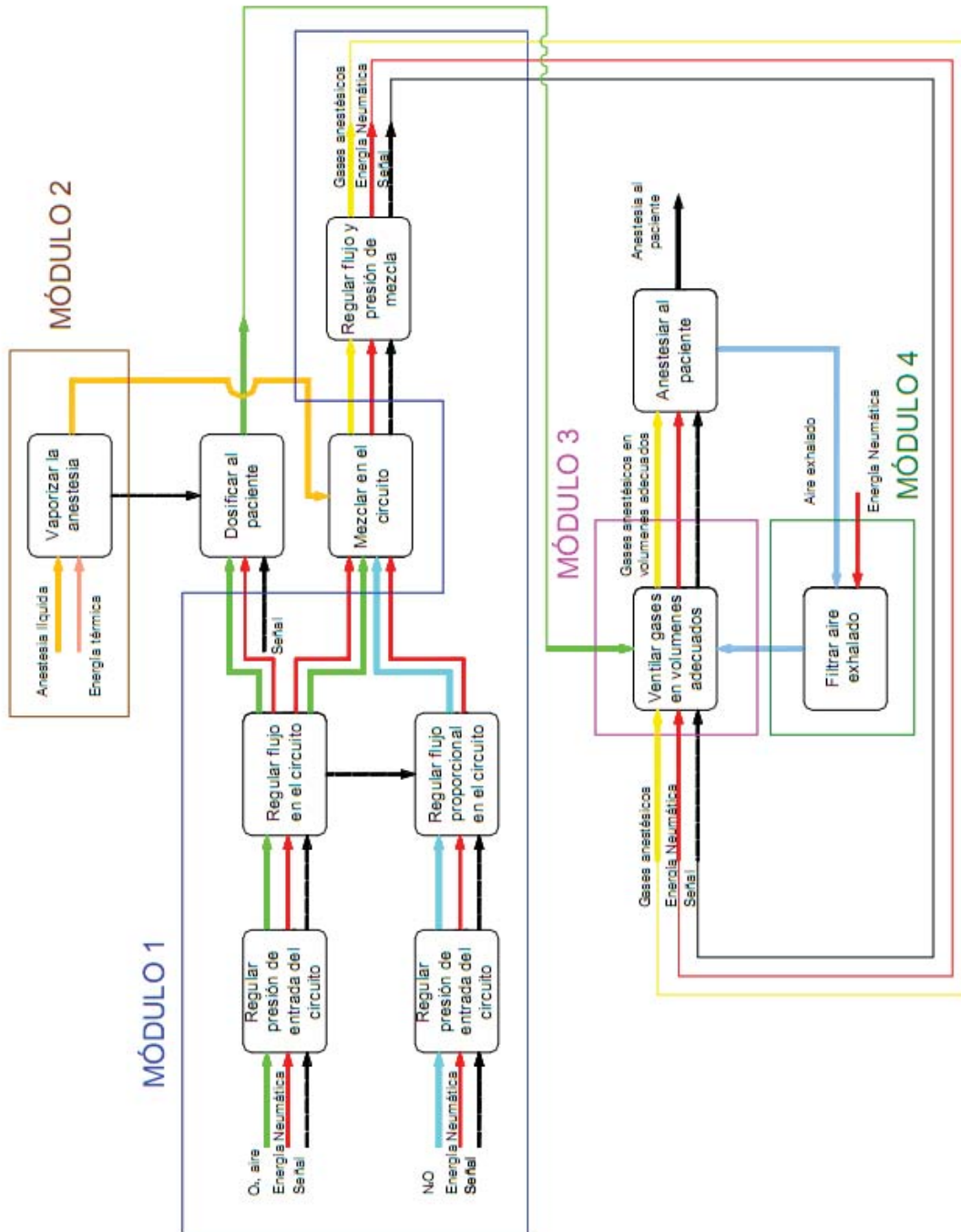


Figura 4. Estructura modular equipo de anestesia

4 Alternativas de solución

Para la selección de alternativas se plantea un procedimiento basado en el método corregido de criterios ponderados expuesto por Caries Riba en su texto de Diseño Concurrente. Mediante este método se selecciona según una jerarquía de criterios técnicos, una alternativa de solución para cada sistema que conforma el equipo médico en referencia. Este método se basa en tablas donde cada solución, se confronta con las restantes soluciones y se asignan los valores siguientes [2]:

- 1 si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor, $>$) que el de las columnas.
- 0.5 si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas.
- 0 si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor, $<$) que el de las columnas.

La evaluación final para cada solución resulta de la suma de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio, este proceso garantiza la selección de las alternativas convenientes a fin de facilitar los mejores resultados finales.

Una vez que se han identificado las soluciones convenientes para cada módulo establecido, se debe combinar esas soluciones a través de una matriz morfológica, es posible obtener varias combinaciones, cada una de ellas debe cumplir satisfactoriamente con la función global de la máquina. Utilizar las características de experto y la heurística para eliminar las combinaciones no factibles. La matriz en referencia para la mesa quirúrgica se puede observar en la figura 5.

Las alternativas seleccionadas para cada sistema de la mesa quirúrgica son las siguientes:

- Sistema de transporte alternativa "a5": Transporte con fijación en sus extremos.
- Sistema de regulación de altura, alternativa " $L > 3$ ": Sistema gata mecánica.
- Sistema de inclinación, alternativa "c2": Sistema gata mecánica.
- Sección de piernas, alternativa "d1": Sistema de ajuste tipo trinquete.
- Sección del tronco, alternativa "e2": Sistema gata mecánica.
- Sección de la cabeza, alternativa es "f1":

Sistema con posicionador y resorte En el diseño de la mesa quirúrgica se establecen dos opciones de solución para el sistema de inclinación, al tratarse de un proyecto de investigación se decide desarrollar los dos prototipos y demostrar las bondades y debilidades de cada uno a través del protocolo de pruebas correspondiente. Las soluciones indicadas se las esquematiza en las figuras 6 y 7.

GENERAR POSICIONES DE OPERACIÓN	TRANSPORTAR Y GIRAR	a1	a2	a3	a4	a5
	ELEVAR MÓDULOS DEL PACIENTE	b1	b2	b3		
	INCLINAR	c1	c2	c3		
	POSICIONAR SECCIÓN PIERNAS	d1	d2	d3		
	POSICIONAR SECCIÓN TRONCO	e1	e2	e3		
	POSICIONAR SECCIÓN CABEZA	f1	f2	f3		

Figura 5. Sistemas seleccionados Mesa Quirúrgica Manual

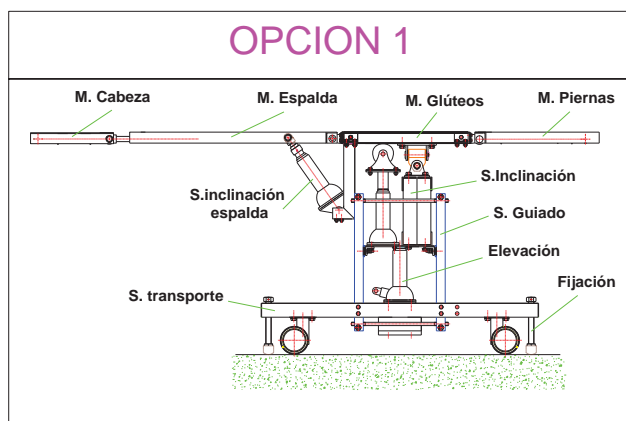


Figura 6. Opción 1 de la Mesa Quirúrgica Manual

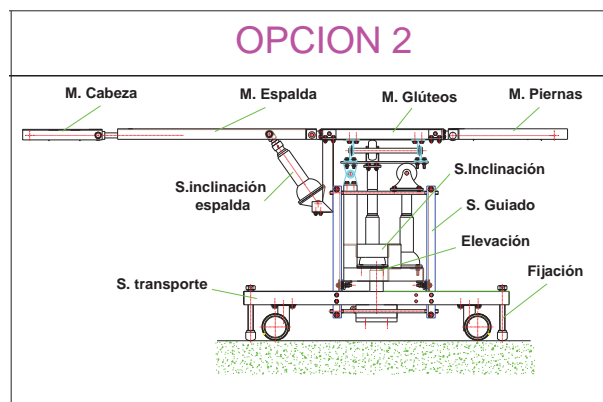


Figura 7. Opción 2 de la Mesa Quirúrgica Manual

En la mesa quirúrgica se diseñó e implementó un sistema de guiado acorde a los requerimientos de elevación, esta representa una tarea importante en el trabajo realizado.

El equipo de anestesia es un conjunto de dispositivos necesarios y suficientes para la entrega y dosificación de aire, oxígeno, y fármacos anestésicos en estado de gas o vapor para la anestesia general, para mantener la ventilación normal del aparato respiratorio y para la vigilancia constante de las concentraciones de los gases y vapores respirados, así como de las funciones vitales del paciente [7].

La matriz morfológica para la máquina de anestesia se puede observar en la figura 8.

Los sistemas seleccionados para el equipo de anestesia son: El vaporizador seleccionado para el sistema de dosificación es la combinación "a1.1" con "a2.1": Vaporizador con concentración calibrada a la salida con compensación de temperatura mediante termocupla.

El sistema del paciente seleccionado es "b2": Sistema Circular con absorción de CO₂.

Esta solución se la esquematiza en la figura 9.

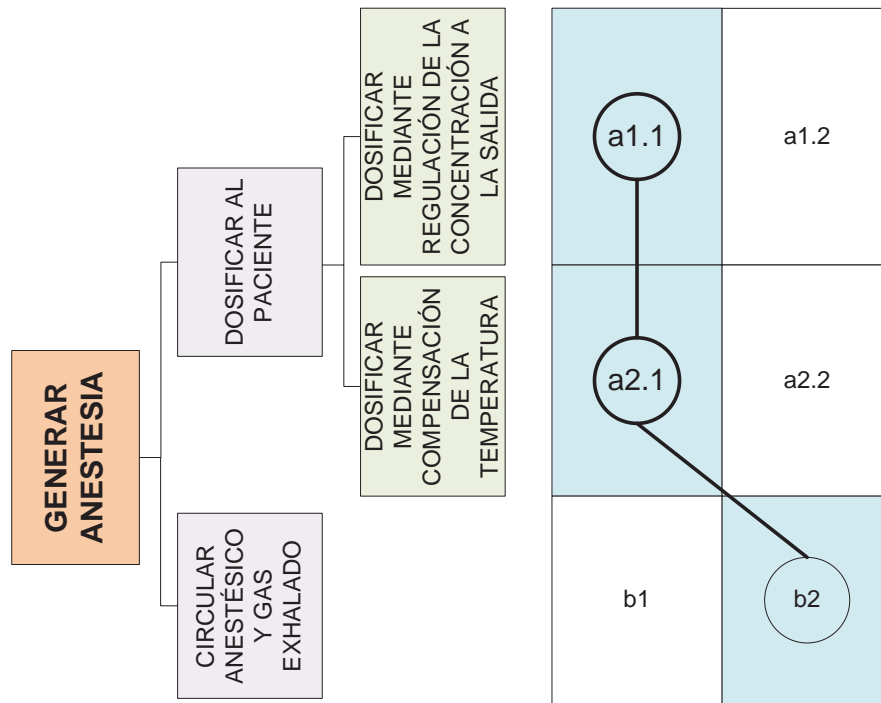


Figura 8. Sistemas seleccionados para el Equipo de anestesia

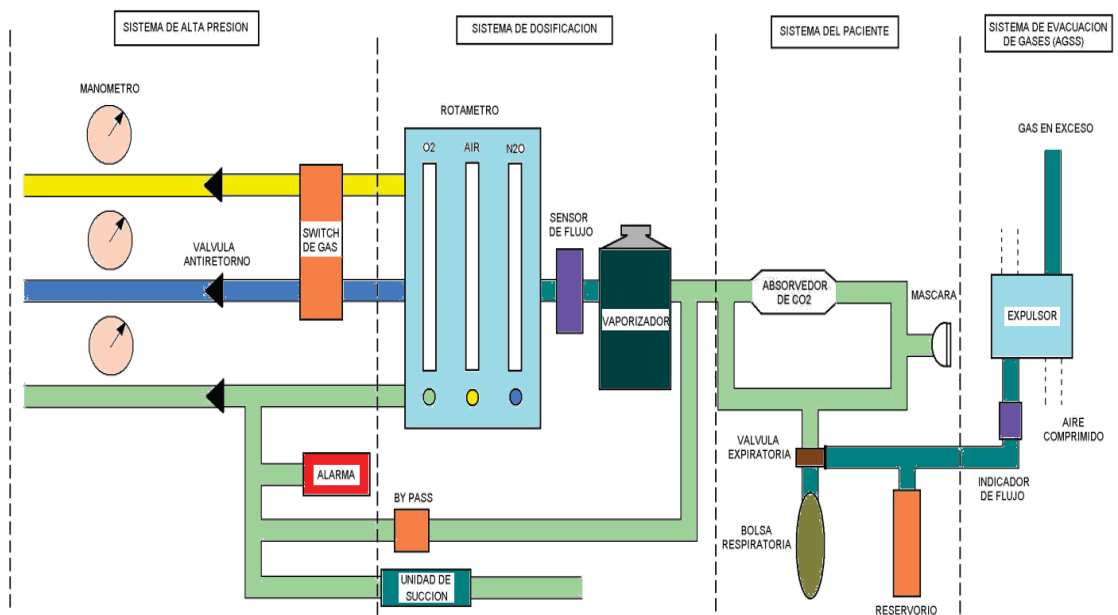


Figura 9. Esquema de las partes del equipo de anestesia

Las fotografías 1, 2 y 3 muestran módulos y partes construidas del prototipo de la mesa quirúrgica manual. En la fotografía 4 se puede observar el prototipo construido de la mesa quirúrgica manual con el sistema de inclinación opción 2.



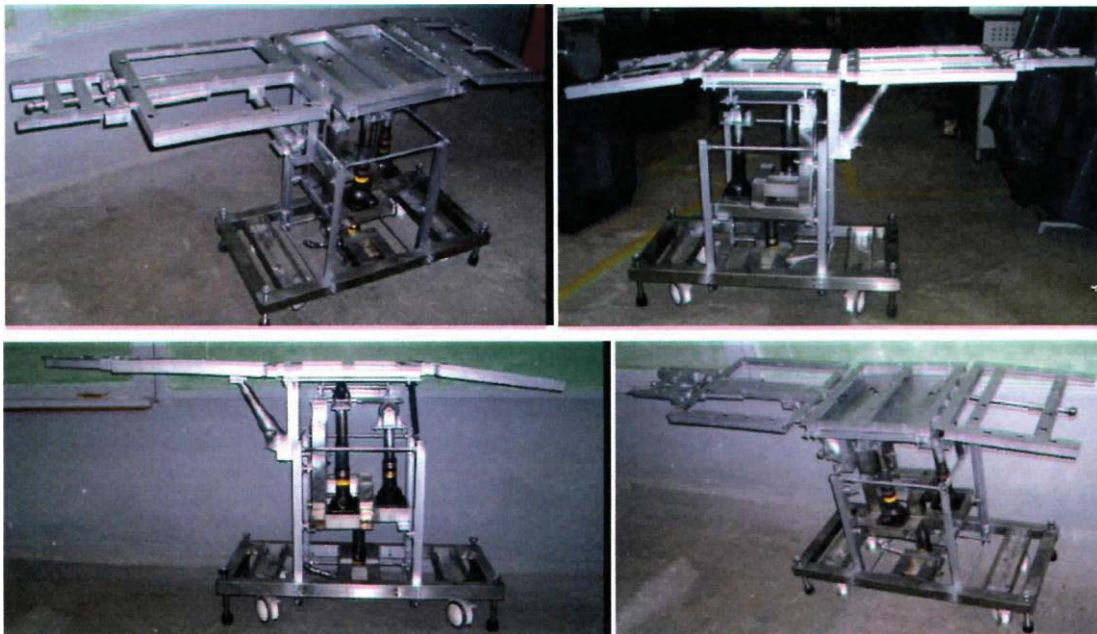
Fotografía 1. Sistema de transporte - base



Fotografía 2. Sistema inclinación



Fotografía 3. Estructura sistema inclinación



Fotografía 4. Mesa Quirúrgica Manual con el sistema de inclinación opción 2

5 Protocolo de pruebas

5.1 Mesa quirúrgica

Para la comprobación de los diferentes sistemas, tanto en su parte funcional, como en dimensiones, materiales y otros se utiliza el protocolo de pruebas que a continuación mencionamos:

Función:

- Comprobar los ángulos de inclinación en cada una de

las posiciones de la mesa quirúrgica.

- Comprobar si soporta el peso del paciente, someter a una carga equivalente de 300 lb(136.4 kg) distribuida sobre toda la mesa.
- Comprobar si soporta las cargas de impacto ocasional, dejar caer un peso igual a 30 kg desde una altura de 2 metros sobre el área de reanimación del pecho.
- Demostrar la facilidad en la manipulación del equipo en las intervenciones quirúrgicas, aplicar todas las

posiciones de la mesa con una persona que simule al paciente encima de ella.

- Comprobar la movilidad de la mesa, trasladar la misma desde un lugar hacia otro haciéndola pasar por obstáculos que se encuentra dentro de un quirófano.
- Comprobar los seguros mecánicos en las diferentes posiciones, verificando el ajuste entre piezas de cada mecanismo involucrado.

Dimensión: Comprobar las medidas generales de la mesa quirúrgica, utilizar un flexómetro. Las longitudes deben ser:

- Largo=1900 mm,
- Ancho=540 mm,
- Altura mínima=750 mm y

- Altura máxima=1000 mm,
- Asumir una tolerancia de ± 3 mm.

Mantenimiento: Para el mantenimiento de la mesa quirúrgica se debe generar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que se ajuste a las necesidades de cada elemento constitutivo de cada sistema y de acuerdo a la alta fiabilidad que demanda este tipo de equipo médico.

5.2 Equipo de anestesia

La simulación en Labview del equipo de anestesia permitió visualizar virtualmente el funcionamiento del equipo, así como las funciones específicas de cada componente dentro del circuito anestésico.

La interfaz dinámica desarrollada se puede observar en la figura 10.

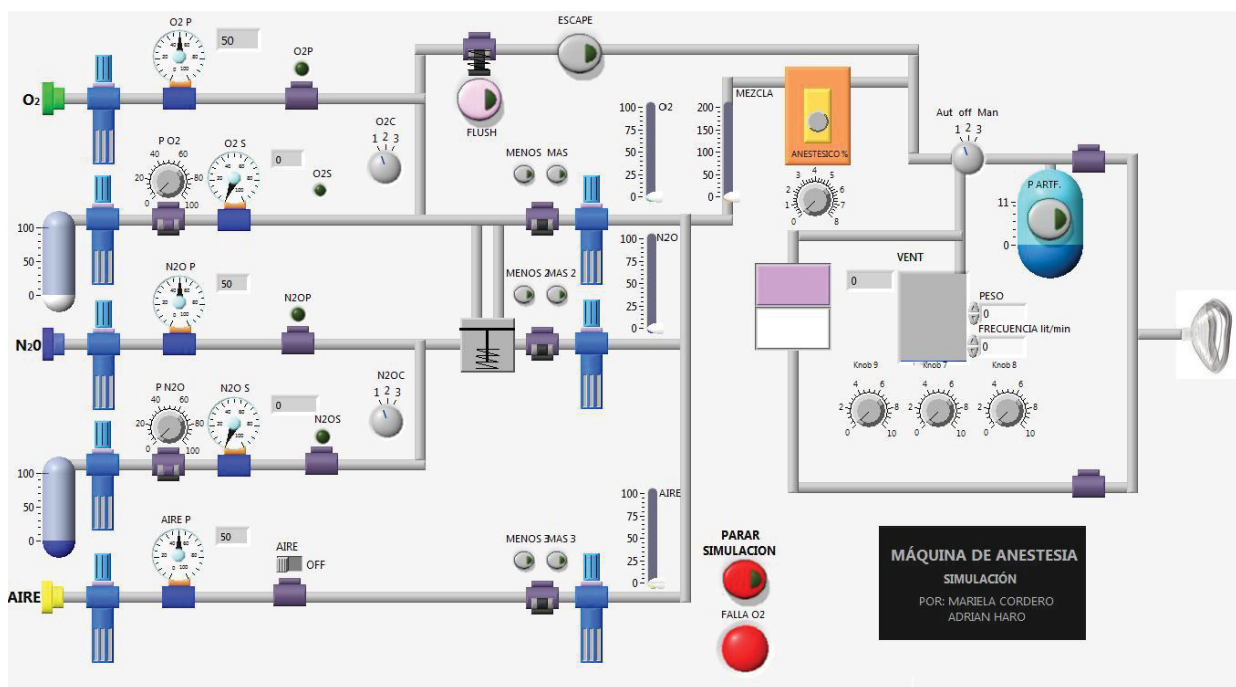


Figura 10. Simulación del equipo de anestesia en Labview

6 Resultados obtenidos

Las pruebas planificadas a la mesa quirúrgica se realizaron de forma sistemática y separada por sistemas mecánicos, posteriormente se aplican las pruebas finales con todos los sistemas ensamblados para cada opción.

En las tablas 5 y 6 se puede observar los resultados de las pruebas realizadas, la información demuestra el cumplimiento de las especificaciones técnicas iniciales. En el sistema de inclinación se observa que el sistema es inestable respecto de cargas no consideradas en diseño, razón por la cual es necesario iniciar el rediseño correspondiente.

Los equipos anestesia por la función que desempeñan deben ser totalmente confiables en su funcionalidad

y además deben cumplir en forma obligatoria todas las normas establecidas para su instalación y funcionamiento.

La simulación en Labview permite observar el correcto desempeño de la máquina de anestesia, así como también la selección apropiada de los elementos individuales y la correcta interacción que se obtiene a través del proceso de ensamblaje. Los procedimientos que se deben cumplir en una operación específica, requieren garantizar la

función que cumple cada elemento del equipo de anestesia y la interacción que debe existir entre todos sus elementos para cumplir su objetivo.

Al establecer el circuito neumático del equipo de anestesia, se identificaron los elementos constitutivos

dentro del proceso de generación de anestesia para el paciente; siendo los más relevantes, dentro de este complejo proceso, los sistemas de vaporización y ventilación.

El principio fundamental identificado en el sistema de vaporización, se basa en la transformación de estado físico del anestésico líquido, así como el calor que se debe suministrar al fluido en un intervalo de tiempo adecuado y coordinado con su posterior proceso de combinación de gases.

Para la ventilación se identificó dos procesos complementarios, la única diferencia entre éstos es la tecnología que poseen: bolsa reservorio ó equipo de ventilación.

El estudio y desarrollo de una máquina de anestesia constituye una tarea complicada, no existen antecedentes de intentos anteriores, este trabajo de investigación aporta el estudio de los fundamentos, un diseño preliminar y la simulación correspondiente, este aporte debe ser aprovechado, para continuar el trabajo.

Tabla 4. Comprobación de criterios para la mesa quirúrgica manual

OPCIÓN 1					OPCIÓN 2				
Comprobación de Criterios					Comprobación de Criterios				
Sistema	Criterio	Si	No	Observación	Sistema	Criterio	Si	No	Observación
Sistema de transporte y fijación	Fácil de maniobrar y desplazar	✓			Sistema de transporte y fijación	Fácil de maniobrar y desplazar	✓		
	Fácil fijación en sus extremos	✓				Fácil fijación en sus extremos	✓		
Sistema de elevación	Facilidad de maniobra	✓			Sistema de elevación	Facilidad de maniobra	✓		
Sistema de inclinación	Fácil de maniobrar				Sistema de inclinación	Fácil de maniobrar	✓		
	Fácil movimiento de ruedas	✓		No existe suficiente apoyo por parte de las ruedas		Fácil movimiento de ruedas	✓		No existe suficiente apoyo por parte de las ruedas
	Existe ruido		✓			Existe ruido		✓	
Modulo piernas	Facilidad de posicionamiento		✓	Montaje inadecuado	Modulo piernas	Facilidad de posicionamiento		✓	Montaje inadecuado
Modulo espalda	Libre giro	✓			Modulo espalda	Libre giro	✓		
	Existe ruido	✓		De la gata mecánica		Existe ruido	✓		De la gata mecánica
Modulo cabeza	Facilidad de posicionamiento	✓			Modulo cabeza	Facilidad de posicionamiento	✓		

Tabla 5. Registro de características para la mesa quirúrgica manual

OPCIÓN 1					OPCIÓN 2				
Registro de Características					Registro de Características				
Sistema	Criterio	Valores	Req.	% Error	Sistema	Criterio	Valores	Req.	% Error
Sistema de transporte y fijación	Fuerza necesaria para iniciar el movimiento	30.5 lbf	N/A	N/A	Sistema de transporte y fijación	Fuerza necesaria para iniciar el movimiento	30.5 lbf	N/A	N/A
	Tiempo de fijación de la mesa	1 min	N/A	N/A		Tiempo de fijación de la mesa	1 min	N/A	N/A
Sistema de inclinación longitudinal	Desplazamientos angulares positivos	+42°	+20°	N/A	Sistema de inclinación longitudinal	Desplazamientos angulares positivos	+35°	+20°	N/A
	Desplazamientos angulares negativos	-25°	-20°	N/A		Desplazamientos angulares negativos	-25°	-20°	N/A
	Peso	4.2 kg	N/A	N/A		Peso	6.8 kg	N/A	N/A

Continúa en la siguiente página...

OPCIÓN 1					OPCIÓN 2				
Registro de Características					Registro de Características				
Sistema de incunación transversal	Desplazamientos angulares positivos	+38°	+25°	N/A	Sistema de incunación transversal	Desplazamientos angulares positivos	+35°	+25°	N/A
	Desplazamientos angulares negativos	-25°	-25°	N/A		Desplazamientos angulares negativos	-25°	-25°	N/A
Modulo Piernas	Largo	450 mm	450 mm	0.00 %	Modulo Piernas	Largo	450 mm	450 mm	0.00 %
	Ancho	540 mm	540 mm	0.00 %		Ancho	540 mm	540 mm	0.00 %
	Espesor	40 mm	N/A	0.00 %		Espesor	40 mm	N/A	0.00 %
	Peso	6.5 kg	6 kg	N/A		Peso	6.5 kg	6 kg	N/A
Modulo Gluteos	Largo	450 mm	450 mm	0.00 %	Modulo Gluteos	Largo	450 mm	450 mm	0.00 %
	Ancho	540 mm	540 mm	0.00 %		Ancho	540 mm	540 mm	0.00 %
	Espesor	40 mm	N/A	N/A		Espesor	40 mm	N/A	N/A
	Peso	11 kg	10 kg	N/A		Peso	11 kg	10 kg	N/A
Modulo Espalda	Desplazamientos angulares positivos	+75°	+70°	N/A	Modulo Espalda	Desplazamientos angulares positivos	+75°	+70°	N/A
	Desplazamientos angulares negativos	-30°	-20°	N/A		Desplazamientos angulares negativos	-30°	-20°	N/A
	Largo	550 mm	550 mm	0.00 %		Largo	550 mm	550 mm	0.00 %
	Ancho	540 mm	540 mm	0.00 %		Ancho	540 mm	540 mm	0.00 %
	Espesor	40 mm	N/A	N/A		Espesor	40 mm	N/A	N/A
	Peso	10.5 kg	11 kg	N/A		Peso	10.5 kg	11 kg	N/A
Modulo Cabeza	Desplazamientos angulares negativos	-20°	-20°	N/A	Modulo Cabeza	Desplazamientos angulares negativos	-20°	-20°	N/A
	Largo	250 mm	250 mm	0.00 %		Largo	250 mm	250 mm	0.00 %
	Ancho	250 mm	250 mm	0.00 %		Ancho	250 mm	250 mm	0.00 %
	Espesor	40 mm	N/A	N/A		Espesor	40 mm	N/A	N/A
	Peso	2.5 kg	2 kg	N/A		Peso	2.5 kg	2 kg	N/A

Tabla 6. Pruebas para la opción 1 de la mesa quirúrgica manual

Formato de Comprobación del Protocolo de Pruebas			
FECHA:	27/08/2010		REVISIÓN N: 1
REALIZADO POR:	MARIELA CORDERO - ADRIÁN HARO		
NOMBRE DEL EQUIPO:	MESA QUIRÚRGICA MANUAL OPCIÓN 1		
FUNCIONES BÁSICAS			
FUNCIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	RECOMENDACIONES
POSICIONES DE OPERACIÓN	✓		
SOPORTA PESO DE 136.4 kg	✓		Verificar estabiudad
SOPORTA CARGA DE IMPACTO DE 30 kg	✓		Verificar estabiudad
FÁCIL MOVILIDAD	✓		
SEGURIDAD MECÁNICA EN POSICIONES DE OPERACIÓN		✓	En los dos sistemas de incunacion cambiar ruedas por otro apoyo, ya que esto causa inestabilidad en los módulos del paciente
DIMENSIONES			
DIMENSIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	RECOMENDACIONES
LARGO 1700 mm	✓		
ANCHO 540 mm	✓		
ALTURA MÍNIMA 750 mm		✓	Ensamblar la gata mecánica de elevación en la base inferior del sistema de transporte

Continúa en la siguiente página...

Formato de Comprobación del Protocolo de Pruebas			
ALTURA MÁXIMA 1000 mm	✓		
MATERIALES			
ELEMENTOS	CUMPLE	NO CUMPLE	RECOMENDACIONES
ESTRUCTURAS		✓	Utilizar los materiales adecuados en todos los elementos mecánicos de la mesa quirúrgica
ELEMENTOS DE FIJACIÓN, RESORTE Y AJUSTE		✓	
RUEDAS		✓	
ELEMENTOS MECÁNICOS DE ELEVACIÓN		✓	
EJES		✓	
PIVOTES		✓	
MANZANAS		✓	
GUIAS		✓	

Tabla 7. Pruebas para la opción 2 de la mesa quirúrgica manual

Formato de Comprobación del Protocolo de Pruebas			
FECHA:	27/08/2010	REVISIÓN N: 1	
REALIZADO POR:	MARIELA CORDERO - ADRIÁN HARO		
NOMBRE DEL EQUIPO:	MESA QUIRÚRGICA MANUAL OPCIÓN 2		
FUNCIONES BÁSICAS			
FUNCIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	RECOMENDACIONES
POSICIONES DE OPERACIÓN	✓		
SOPORTA PESO DE 136.4 kg	✓		Verificar estabilidad
SOPORTA CARGA DE IMPACTO DE 30 kg	✓		Verificar estabilidad
FÁCIL MOVILIDAD	✓		
SEGURIDAD MECÁNICA EN POSICIONES DE OPERACIÓN		✓	En los dos sistemas de inclinación cambiar ruedas por otro apoyo, ya que esto causa inestabilidad en los módulos del paciente
DIMENSIONES			
DIMENSIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE	RECOMENDACIONES
LARGO 1700 mm	✓		
ANCHO 540 mm	✓		
ALTURA MÍNIMA 750 mm		✓	Rediseñar la posición y geometría de los sistemas de inclinación
ALTURA MÁXIMA 1000 mm	✓		
MATERIALES			
ELEMENTOS	CUMPLE	NO CUMPLE	RECOMENDACIONES
ESTRUCTURAS		✓	Utilizar los materiales adecuados en todos los elementos mecánicos de la mesa quirúrgica
ELEMENTOS DE FIJACIÓN, RESORTE Y AJUSTE		✓	
RUEDAS		✓	
ELEMENTOS MECÁNICOS DE ELEVACIÓN		✓	
EJES		✓	
PIVOTES		✓	
MANZANAS		✓	
GUIAS		✓	

7 Conclusiones

1. El optimizar el funcionamiento de una máquina es un proceso complicado y largo que demanda el apoyo y colaboración de autoridades, funcionarios, laborato- rios, etc.
2. El alcance original del proyecto era el diseño y simulación de un prototipo de mesa quirúrgica, a fin de comprobar objetivamente los módulos diseñados se decidió realizar la construcción de un prototipo con

- dos opciones.
3. La selección de los componentes y materiales del equipo médico desarrollado se realizó teniendo en cuenta la disponibilidad de éstos en el mercado local.
 4. La mesa quirúrgica y la máquina de anestesia se diseñan rigurosamente a fin de que cumplan con los requerimientos funcionales establecidos en las especificaciones técnicas.
 5. Con el propósito de disminuir costos se utilizó los fundamentos del diseño adoptivo, a fin de adquirir elementos producidos en grandes series y por tanto económicos.
 6. La aplicación de la Ingeniería Concurrente, permitió identificar los sistemas funcionales de la mesa quirúrgica, facilitando la selección de las alternativas de diseño.
 7. Los mecanismos de funcionamiento de la mesa quirúrgica fueron diseñados con el objetivo que sean fáciles de reparar, reponer y ensamblar.
 8. Se plantea dos alternativas de diseño para los sistemas de inclinación, las cuales se acoplan de manera sencilla a la base de la mesa quirúrgica, el análisis del comportamiento se realiza en las pruebas correspondientes, con el fin de determinar cuál de los dos sistemas cumple de mejor manera con los requerimientos de funcionalidad.
 9. Se construyó un prototipo de la mesa quirúrgica para comprobar el funcionamiento de los elementos seleccionados y diseñados.
 10. Se estableció un factor de seguridad elevado para los elementos de la mesa quirúrgica puesto que se trata de un prototipo y que durante su utilización se pone en riesgo la vida humana.
 11. Se seleccionó y posicionó adecuadamente los elementos constitutivos del equipo de anestesia, y se comprobó virtualmente que el diseño cumpla con los requerimientos establecidos.
 12. En el desarrollo de un equipo de anestesia se debe considerar las normas internacionales para estos equipos y la de salas de operaciones.
 13. El proceso de diseño es iterativo y heurístico.

Referencias

- [1] M. Cordero y A. Haro, *Diseño de una mesa quirúrgica manual y un equipo de suministro de anestesia para clínicas y hospitales*. Tomo I, 2010.
- [2] C. Riba, *Diseño Concurrente*. 2002.
- [3] ARMAS, Jorge et al, 2000, *Diseño de una mesa quirúrgica para clínicas y hospitales*. Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, EPN, Quito, Ecuador.
- [4] CICMAN, J, et al; *Operating Principles of Narkomed Anesthesia Systems*. North American Drager.
- [5] CHEVALIER, A; *Dibujo Industrial*. Montaner y Simón, Barcelona.
- [6] DRIPPS, Robert, et al; *Teoría y práctica de ANESTESIA*. Nueva editorial Interamericana, Cuarta Edición, México, 1972.
- [7] MOTT, Robert, *Diseño de Elementos Mecánicos*. México, 2006.
- [8] NORTON, Robert; *Diseño de Máquinas*. McGraw-Hill, México, 1999.
- [9] SHIGLEY, Joseph; MITCHELL, Larry; *Manual de Diseño Mecánico*. McGraw- Hill, 4a edición; México D.F. 1989.
- [10] RENDEL-BAKER, Leslie; *Clínica Anestesiológica, Problemas con el Equipo de tratamiento anestésico y respiratorio*. Volumen 7, No. 2, Salvat Editores, Barcelona, 198