



**Herramienta de cálculo del costo de mantenimiento anual de los equipos biomédicos para analizar el proceso de gestión económica del mantenimiento en la Clínica Cardio VID.**

Alejandra Pérez García

Trabajo de grado para optar al título de Bioingeniera.

Asesores:

Juan Guillermo Barreneche Ospina – Bioingeniero  
Jenny Alejandra López Usme – Tecnóloga biomédica

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería.  
Bioingeniería  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022

Cita	Pérez García [1]
<b>Referencia</b>	[1] A. Pérez García “Herramienta de cálculo del costo de mantenimiento anual de los equipos biomédicos para analizar el proceso de gestión económica del mantenimiento en la Clínica Cardio VID”, Trabajo de grado profesional, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022
Estilo IEEE (2020)	



Práctica académica realizada en la Clínica Cardio VID en el proceso de apoyo al área de Ingeniería Biomédica.



Centro de Documentación de la Facultad de Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Franco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** John Fredy Ochoa Gómez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

*A mi familia, porque es por ellos que estoy en este punto de mi vida, siempre han creído en mí y me han acompañado en cada triunfo y cada derrota.*

*A mi mamá que conoce cada detalle de mi proceso y me motiva día a día.*

*A mi papá que siempre me recalca lo inteligente que soy y la capacidad que tengo de lograr las cosas.*

*A mi hermano que es mi ejemplo, mi alegría y mi gran apoyo.*

*A Dios que está siempre conmigo y me llena de bendiciones.*

## **Agradecimientos**

*Inicialmente doy gracias a Dios por una etapa más que culmino.*

*A mi querida Alma Mater que me regaló tantos momentos, experiencias y amistades que conservaré por siempre.*

*A todos los docentes del programa de Bioingeniería que hicieron parte de mi formación personal y profesional.*

*Al profesor Juan Guillermo Barreneche que me acompañó en este proceso de prácticas, brindándome su tiempo y conocimiento.*

*A la Clínica Cardio VID y todo su personal de Ingeniería y Mantenimiento que me enseñaron tanto, a mis compañeras de trabajo Manuela, María Camila, Melissa, Alejandra, Sara y Adriana que hicieron de este tiempo de prácticas un proceso maravilloso, me llevo grandes aprendizajes de cada una.*

*A mi familia, a mis mejores amigos Juan Pablo y Esteban y compañeros de la universidad que me acompañaron y apoyaron en este camino.*

*A cada uno de ellos ¡GRACIAS!*

***Quiero dejar una gran huella, inspirar a muchos y llenar de amor todos los corazones.***

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. OBJETIVOS	15
A. Objetivo general	15
B. Objetivos específicos	15
III. MARCO TEÓRICO	16
A. Referenciación	16
B. Tecnología biomédica	17
1) Dispositivo médico	17
2) Equipo médico	17
C. Clasificación de dispositivos médicos	17
D. Mantenimiento de la tecnología	17
1) Mantenimiento preventivo	18
2) Mantenimiento correctivo	18
E. Costo anual de mantenimiento	18
1) Costo de mano de obra	18
2) Costo de repuestos	18
3) Costo de contrato de mantenimiento	19
F. Normatividad	19
1) Resolución 3100 de 2019	19
a) Estándar de dotación:	19
2) Decreto 4725 de 2005	19
G. Obsolescencia de la tecnología biomédica	20

1) Renovación	20
IV. METODOLOGÍA	21
A. Identificar y analizar la información requerida de costos y gastos generados por mantenimiento ya sea preventivo o correctivo por cada equipo de la clínica.	21
1) Contexto de la problemática	22
2) Selección final de los equipos biomédicos	22
3) Determinación de costos a incluir	23
4) Recolección de información para la implementación de la herramienta	23
B. Desarrollar y aplicar una herramienta que permita realizar el cálculo de los costos de mantenimiento teniendo en cuenta todos los requerimientos identificados.	23
1) Diseño de la herramienta	24
2) Elaboración de la herramienta	24
3) Implementación de la herramienta	24
C. Definir indicadores de gestión del costo de mantenimiento que permitan la toma de decisiones en cuanto a procesos de baja, obsolescencia y renovación de la tecnología biomédica.	25
1) Determinación de indicadores de costos a incluir en el proyecto	25
2) Cálculo de indicadores establecidos	25
D. Evaluar y ajustar la herramienta diseñada de acuerdo con los hallazgos obtenidos en su validación y a los indicadores de gestión planteados.	26
1) Revisión y validación de la herramienta	26
2) Realización de ajustes necesarios a la herramienta	26
3) Instructivo y capacitación sobre uso de la herramienta	27
V. RESULTADOS	28
A. Primer objetivo específico: Identificación y análisis de la información requerida	28
B. Segundo objetivo específico: Desarrollo y aplicación de la herramienta	30

C. Tercer objetivo específico: Definición de indicadores	32
D. Cuarto objetivo específico: Evaluación y ajuste de la herramienta	40
VI. ANÁLISIS	44
VII. CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS	50
ANEXOS	52

## LISTA DE TABLAS

Tabla I. Listado de posibles costos a incluir en la herramienta	29
Tabla II. Recolección de información requerida para cada equipo	30
Tabla III. Resultado final del costo de mantenimiento para el año 2021	31
Tabla IV. Listado de posibles indicadores de costos a calcular	32
Tabla V. Indicadores de costos por mes	33
Tabla VI. Indicadores de costos por servicio	35
Tabla VII. Indicadores de costos por marca	37
Tabla VIII. Indicador para los tipos de repuestos más solicitados	40
Tabla IX. Resultado del costo anual de mantenimiento para el servicio de cirugía	40
Tabla X. Indicador de costos para cirugía por mes	41
Tabla XI. Indicador de costos por marca para cirugía	41
Tabla XII. Indicador tipo de repuesto más solicitado en cirugía	42

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama de bloques para la metodología general .....	21
Fig. 2. Metodología correspondiente al primer objetivo específico.....	22
Fig. 3. Metodología correspondiente al segundo objetivo específico. ....	24
Fig. 4. Metodología correspondiente al tercer objetivo específico. ....	25
Fig. 5. Metodología correspondiente al cuarto objetivo específico. ....	26
Fig. 6. Selección de los equipos médicos a evaluar. ....	28
Fig. 7. Modelo de herramienta diseñado para el cálculo del costo de mantenimiento anual .....	31
Fig. 8. Modelo de herramienta diseñado para el cálculo del mantenimiento por mes .....	31
Fig. 9. Diagrama de barras del costo de mantenimiento por mes .....	33
Fig. 10. Diagrama de barras del total de repuestos adquiridos por mes.....	34
Fig. 11. Diagrama de barras de mantenimientos correctivos realizados por mes .....	34
Fig. 12. Diagrama circular del costo de mantenimiento por servicio .....	35
Fig. 13. Diagrama de barras de mantenimientos correctivos realizados por servicio .....	36
Fig. 14. Diagrama de barras del total de repuestos adquiridos por servicio .....	36
Fig. 15. Diagrama circular de la cantidad de equipos por marca .....	38
Fig. 16. Diagrama de barras del costo de mantenimiento por marca .....	38
Fig. 17. Diagrama de barras del total de repuestos adquiridos por marca .....	39
Fig. 18. Diagrama circular de mantenimientos correctivos realizados por marca .....	39

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>UCIA</b>	Unidad de Cuidados Intensivos Adultos
<b>UCC</b>	Unidad de Cuidados Coronarios
<b>UCIP</b>	Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos
<b>UCINEO</b>	Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales
<b>CCV</b>	Clínica Cardio VID
<b>TCO</b>	Total Cost of Ownership

## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un estudio sobre el componente económico que hace parte del programa de gestión de mantenimiento, en el que se tienen en cuenta diferentes costos como mano de obra, repuestos y contrato con proveedores externos, esto con el fin de agruparlos y obtener el costo anual de mantenimiento de 537 equipos médicos adquiridos en modalidad de compra y de clasificación IIA, IIB y III pertenecientes a la Clínica Cardio VID. Este proyecto se realiza con el fin de poder llevar un control y una trazabilidad de los costos generados en el mantenimiento tanto preventivo como correctivo de los equipos, y también para seguir siendo implementado en el departamento de ingeniería de la clínica en procesos como análisis de obsolescencia y cálculo del presupuesto de años posteriores.

Para lograr el objetivo, se diseña una herramienta en Excel que realiza el cálculo del costo de mantenimiento y que además está organizada y contiene ítems que permiten agrupar los gastos de diferentes formas, para así obtener indicadores de costos como gastos por mes, por servicio y por marca que permiten un mejor análisis y control de los resultados. Una vez implementada la herramienta se obtiene que el costo anual de mantenimiento en el 2021 fue de \$2.135.583.549, junto con los demás resultados calculados para los indicadores.

Por último, se realiza la validación y los ajustes necesarios junto con las conclusiones y recomendaciones a trabajos futuros, entre las sugerencias se tienen la optimización de la herramienta y la implementación de un mejor método para el cálculo de las horas invertidas.

***Palabras clave* — Mantenimiento, costos, equipos médicos, indicadores, servicios, mano de obra.**

## ABSTRACT

This work develops a study on the economic component that is part of the technical support management program, which considers different costs such as labor, spare parts, and contract with external suppliers, this to group them and obtain the annual cost of technical support of 537 medical equipment purchased in purchase mode and classification IIA, IIB and III belonging to the Clínica Cardio VID. This project is carried out to keep control and traceability of the costs generated in both preventive and corrective technical support of equipment, and also to continue to be implemented in the engineering department of the clinic in processes such as obsolescence analysis and budget calculation for subsequent years.

To achieve the objective, an Excel tool was designed to calculate the cost of technical support, which is also organized and contains items that allow grouping expenses in different ways, to obtain cost indicators such as expenses for month, for service and for brand that allow better analysis and control of the results. Once the tool was implemented, the annual technical support cost in 2021 was \$2.135.583.549, with the other results calculated for the indicators.

Finally, the validation and necessary adjustments are made along with the conclusions and recommendations for future work, among the suggestions are the optimization of the tool and the implementation of a better method for calculating the hours invested.

***Keywords* — Technical support, costs, medical equipment, indicators, services, labor.**

## I. INTRODUCCIÓN

La tecnología biomédica tiene dentro de sus principales funciones la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, por lo que es de vital importancia que todos los equipos médicos pertenecientes a los diferentes servicios de salud funcionen de manera correcta, garantizando así una atención de calidad, una buena prestación del servicio y la seguridad del paciente. En caso de presentarse una falla en un dispositivo médico se deben tomar acciones para corregir el problema de forma inmediata y así, evitar consecuencias que pueden llegar a ser incluso fatales. Es por esto que surge la necesidad de gestionar un programa de mantenimiento para esta tecnología, tal como se menciona en algunas normas como la Resolución 3100 de 2019 y el Decreto 4725 de 2005, las cuales determinan y regulan que la entidad de salud garantice las condiciones técnicas de los equipos médicos mediante un plan de mantenimiento preventivo [1], [2].

En el programa de mantenimiento se realizan una serie de acciones técnicas y gerenciales para garantizar la ejecución segura y confiable de los equipos biomédicos. Para esto, es necesario tener en cuenta los siguientes componentes [3]:

- El componente económico, donde se tienen en cuenta todos los aspectos relacionados con costos y que apuntan a incrementar la productividad del área de mantenimiento.
- El componente de talento humano, quien se encarga de los recursos humanos en el área de mantenimiento, define las funciones de cada una de las personas involucradas y garantiza la capacitación y disposición del personal para realizar las labores operativas.
- El componente de políticas generales, en el que se establecen las condiciones requeridas para llevar a cabo el mantenimiento, el lugar de trabajo, herramientas necesarias, repuestos, materiales y personal mínimo requerido.

Así mismo, el sistema de mantenimiento establecido debe ser consistente con los recursos y necesidades del prestador de servicios de salud, para mantener un equilibrio en el aspecto técnico-económico, lo que implica que la funcionalidad de las instalaciones y equipos de la entidad se

mantengan en condiciones óptimas de economía, o por lo menos en las mismas con que iniciaron su operación.

Dicho lo anterior, el enfoque de este trabajo está centrado en el componente económico y todos los aspectos relacionados con la parte financiera del servicio encargado del mantenimiento de los equipos biomédicos de la Clínica Cardio VID (CCV), institución especializada en el diagnóstico y tratamiento de las áreas cardiovascular, torácica, pulmonar y neurovascular. Allí se cuenta con más de 3400 equipos para atender a los pacientes en los diferentes servicios con los que cuenta la clínica como lo son: Unidad de Cuidados Coronarios, Unidad de Cuidados Intensivos Adultos, Pediátricos y Neonatales, hemodinámica, ayudas diagnósticas, urgencias, hospitalización, cirugía, entre otros [4].

Ahora bien, se tiene que el costo total de tendencia o TCO consiste en una metodología de cálculos que se utilizan para determinar todos los costos no solamente directos si no también indirectos, que van asociados a la adquisición de equipos o tecnologías. Es un método de gran valor debido a que apoya la toma de decisiones al momento de adquirir más bienes para una institución. Todo el análisis incluye los valores de adquisición e implementación, costos recurrentes, mantenimiento, capacitaciones, gastos fijos, etc. [5], [6].

De este modo, según estudios económicos, los gastos que pertenecen a los dos tipos de costos que corresponden al valor de mantenimiento son:

- Costos directos: son aquellos que están relacionados entre sí o son asignados para ejecutar el mantenimiento. A su vez, los costos directos están conformados por costos de mano de obra, repuestos y contratos a terceros.
- Costos indirectos: como su nombre lo indica, no están directamente relacionados con el mantenimiento, pero también hacen parte de los gastos anuales para tener en cuenta. En estos se incluyen la electricidad, el agua, la papelería, entre otros [7].

De esta manera, al realizar la suma de ambos valores, tal como lo indica la teoría se obtiene el costo anual de mantenimiento de los dispositivos médicos, pero en este caso, por sugerencia y según las necesidades de la clínica para realizar el cálculo de los costos solo se tienen en cuenta los

---

costos directos. Este valor es de gran utilidad para conocer el total de los gastos en un periodo determinado, llevar un control en los costos tanto físicos como monetarios en el proceso de mantenimiento y analizar cuáles de estos valores y por qué son los más elevados con el fin de disminuirlos. También, el valor del costo anual de mantenimiento es una parte fundamental en las evaluaciones del índice de obsolescencia ya que este, tiene un porcentaje del 30% de la evaluación total para determinar si una tecnología es obsoleta o no y si además debe renovarse [8].

De acuerdo con lo anterior, surge la necesidad de calcular y tener este valor de costos detallado debido a su gran importancia y a que, en la Clínica, específicamente en el departamento de ingeniería no se contaba con un control sobre estos gastos, solo con los reportes y la contabilidad que se lleva en el área de cartera por lo que se sugiere el desarrollo de un método que se pueda seguir implementando por el personal de ingeniería y así tener una trazabilidad de los gastos.

En ese orden de ideas, en este proyecto se plantea la realización de una herramienta en Excel dado que este software es utilizado en la mayoría de archivos que se trabajan en el departamento de ingeniería de la Clínica y permite de forma sencilla la realización de operaciones para el cálculo del valor de los costos ya antes mencionados en el último año (2021) para los equipos en modalidad de compra, un total de 537, además de indicadores de costo tales como gastos por mes, por servicio, entre otros, que permiten la medición de la gestión financiera del mantenimiento en la Clínica Cardio VID y así, determinar la administración y manejo que se le da a los procesos económicos de los equipos médicos. Además, de tener un valor base para la determinación de presupuesto del siguiente año y presentar frente auditorías internas de la clínica un sustento del valor de inversión realizado para asegurar el funcionamiento de los equipos.

Finalmente, en este trabajo se presentan los objetivos del proyecto, el marco teórico en el que se mencionan conceptos técnicos tratados, la metodología que se implementó para la ejecución de cada uno de los objetivos, los resultados obtenidos junto con su análisis y por último las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

## II. OBJETIVOS

### *A. Objetivo general*

Diseñar una herramienta que permita determinar el costo total anual de mantenimiento de los equipos biomédicos, con el fin de analizar la gestión económica del proceso de mantenimiento en la Clínica Cardio VID.

### *B. Objetivos específicos*

- Identificar y analizar la información requerida de costos y gastos generados por mantenimiento ya sea preventivo o correctivo por cada equipo de la clínica.
- Desarrollar y aplicar una herramienta que permita realizar el cálculo de los costos de mantenimiento teniendo en cuenta todos los requerimientos identificados.
- Definir indicadores de gestión del costo de mantenimiento que permitan la toma de decisiones en cuanto a procesos de baja, obsolescencia y renovación de la tecnología biomédica.
- Evaluar y ajustar la herramienta diseñada de acuerdo con los hallazgos obtenidos en su validación y a los indicadores de gestión planteados.

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. Referenciación

En el trabajo titulado “Evaluación de la capacidad instalada de la Clínica Crecer” se realiza una evaluación económica junto con un análisis del costo-beneficio y de costo-efectividad, además de recolectar los costos de inversión en mantenimiento con el fin de tomar decisiones oportunas de reemplazo de los equipos biomédicos en un periodo estimado de 5 años. La información es adquirida por el área de compras y de mantenimiento para obtener todos los resultados que se requieren y posteriormente discutir por servicios y equipos los valores obtenidos [9].

En el artículo “Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento” se determinaron los principales indicadores de mantenimiento, entre estos se encuentran los costos de mantenimiento por facturación y por eliminación de las fallas, lo que ratifica su relevancia y la utilidad que tienen para evaluar el desempeño del departamento de ingeniería basándose en los costos que este genera para la institución [10].

En el proyecto “Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento de equipos biomédicos en un hospital en el Valle del Cauca” también se realizó un análisis del costo beneficio de la propuesta de gestión de mantenimiento en el que se definen costos asociados al plan de mantenimiento dependiendo de aspectos negativos hallados en el diagnóstico del estado actual [11].

Finalmente, en “Aplicación del método Delphi para determinar el costo máximo admisible en mantenimiento de los equipos médicos” se demostró este valor en un Hospital de Bogotá. Este método consistió en realizar rondas a expertos sobre la vida útil de los equipos médicos con y sin mantenimiento para obtener datos estadísticos como media, moda, mediana y desviación estándar y así calcular el costo máximo mencionado [12].

## *B. Tecnología biomédica*

La tecnología biomédica incluye los equipos, medicamentos, dispositivos y procedimientos quirúrgicos que son utilizados en los servicios de salud y los sistemas de gestión y apoyo por medio de los cuales se proporciona esta atención [13].

### *1) Dispositivo médico*

Es un instrumento, aparato, artefacto, equipo biomédico u otro artículo, utilizado para la prevención, el diagnóstico o el tratamiento de una enfermedad, o para detectar, medir, restablecer, corregir o modificar la estructura o la funcionalidad del organismo con algún propósito médico o sanitario.

### *2) Equipo médico*

Es un dispositivo médico utilizado en el diagnóstico, tratamiento o rehabilitación de una enfermedad o lesión, ya sea solo o junto con accesorios, consumibles u otros equipos médicos. Requieren calibración, mantenimiento, reparación, capacitación de los usuarios y retirada del servicio, actividades gestionadas normalmente por ingenieros clínicos.

## *C. Clasificación de dispositivos médicos*

Los dispositivos médicos se clasifican en 4 categorías de riesgo: Clase I, Clase IIA, Clase IIB, Clase III, en función de su riesgo potencial para la salud. Se asocia a cada categoría las reglas de evaluación y de control específicos [2].

## *D. Mantenimiento de la tecnología*

Conjunto de actividades necesarias para conservar los equipos médicos y garantizar unas condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico.

### *1) Mantenimiento preventivo*

Es un conjunto de actividades planificadas que aseguran el funcionamiento de los equipos y previenen averías y mal funcionamiento, las cuales se realizan para alargar la vida útil de los equipos y prevenir daños. Deben programarse de acuerdo con las necesidades de cada equipo e incluir tareas específicas como lubricación, limpieza y reemplazo de piezas desgastadas.

### *2) Mantenimiento correctivo*

Es una serie de trabajos no planificados cuyo propósito es restaurar o reparar el funcionamiento del equipo médico, garantizando su seguridad e integridad que ayudarán a situarlo nuevamente en el servicio [14].

## *E. Costo anual de mantenimiento*

El valor total de los gastos invertidos en el programa de mantenimiento de los equipos biomédicos debe tener un tope máximo de forma que no lleguen a ser antieconómicos, por lo tanto, existe un costo anual máximo aceptable para el desarrollo de estas actividades que se verá reflejado en el ahorro que se logra en el costo de reemplazo de una tecnología competente gracias a la prolongación de la vida útil de los equipos como efecto de un mantenimiento preventivo oportuno [3], [15].

### *1) Costo de mano de obra*

El costo de hora/persona se obtiene sobre la base del salario del personal encargado del mantenimiento.

$$\text{Sueldo anual} = \text{Salario mensual} * 12 \text{ meses} \quad (1)$$

Este cálculo se realiza para todas las personas pertenecientes al área de mantenimiento y debe proyectarse para el presupuesto correspondiente al contrato establecido. Así, el costo por hora finalmente será el costo anual por técnico sobre las horas laborables por año.

### *2) Costo de repuestos*

Se define repuesto a todo elemento utilizado a reemplazar partes de una o más piezas de un equipo. Los costos de estos son determinados con base a los siguientes criterios:

- Listado de repuestos que actualmente tiene el hospital
- Listado de repuestos que proporcionen los proveedores de los equipos

### 3) *Costo de contrato de mantenimiento*

El mantenimiento operativo de algunos equipos debe ser realizado por una empresa contratada para estos fines. El valor del costo dependerá del servicio que sea proporcionado, la complejidad del equipo y la facilidad para conseguir los repuestos.

## *F. Normatividad*

### 1) *Resolución 3100 de 2019*

El Manual de Inscripción de Prestadores y Habilitación de Servicios de Salud es el instrumento que contiene las condiciones, estándares y criterios mínimos requeridos para ofertar y prestar servicios de salud en Colombia en el marco del Sistema General de Seguridad Social en Salud. El prestador de servicios de salud que habilite servicios de salud debe cumplir los requisitos mínimos que brinden seguridad a los usuarios en el proceso de atención en salud.

#### *a) Estándar de dotación:*

Son las condiciones mínimas e indispensables que garantizan los equipos biomédicos necesarios, así como sus mantenimientos, para la prestación de los servicios de salud con el menor riesgo posible.

### 2) *Decreto 4725 de 2005*

Tiene por objeto, regular el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria en lo relacionado con la producción, procesamiento, envase, empaque, almacenamiento, expendio, uso, importación, exportación, comercialización y mantenimiento de los dispositivos médicos para uso humano, los cuales serán de obligatorio cumplimiento por parte de todas las personas naturales o jurídicas que se dediquen a dichas actividades en el territorio nacional [2].

### *G. Obsolescencia de la tecnología biomédica*

Es la pérdida del valor que presenta el equipo médico, lo que lleva a su rechazo por parte del sistema económico. La eliminación del dispositivo puede ocurrir porque ya no está realizando su función prevista, es superado por la nueva tecnología, o no es económicamente rentable para la entidad en la que se encuentra, o el equipo ya no es legal, o su estética está en malas condiciones.

#### *1) Renovación*

Es el cambio que se realiza a una tecnología biomédica, por medio de un diagnóstico del equipo en el que se evalúan diferentes criterios del estado funcional, seguridad, utilidad y económico. Esto con el fin de determinar el estado del equipo, su vida útil y obsolescencia para una posterior reubicación, reposición o baja del equipo biomédico [16].

## IV. METODOLOGÍA

Para lograr el desarrollo general del proyecto, se determinó una metodología de manera global que se muestra en el diagrama cronológico de la Fig. 1, la cual está orientada a la ejecución de los cuatro objetivos específicos planteados y, por lo tanto, el cumplimiento del objetivo general.

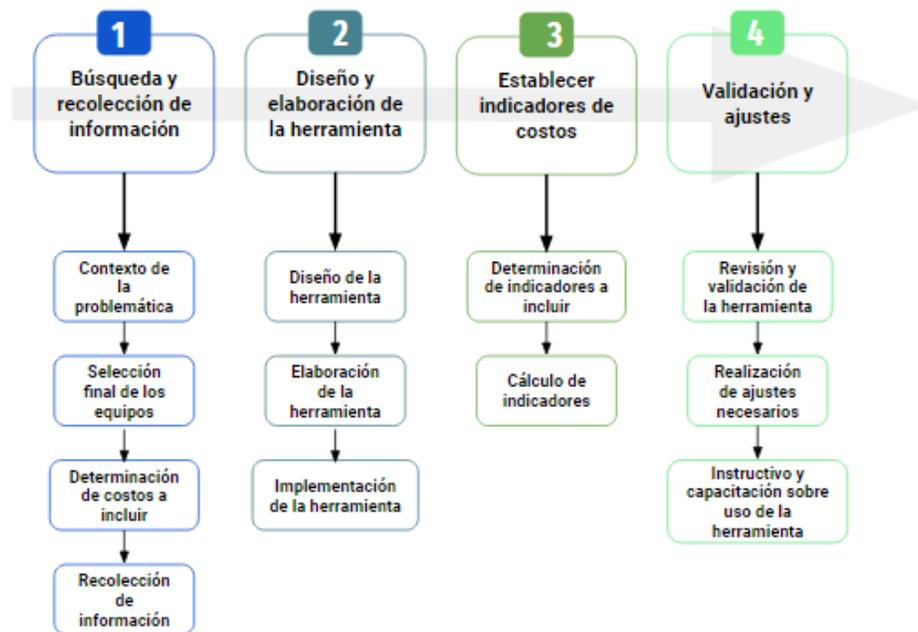


Fig. 1. Diagrama de bloques para la metodología general

Posteriormente, para el cumplimiento de los objetivos específicos se presentan detalladamente las actividades específicas realizadas junto con su respectivo diagrama de bloques como se muestra en las Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 5.

*A. Identificar y analizar la información requerida de costos y gastos generados por mantenimiento ya sea preventivo o correctivo por cada equipo de la clínica.*

La primera etapa del proyecto consta de toda la contextualización del problema, la revisión de la información requerida y la definición del contenido a implementar en la herramienta. A

continuación, en la *Fig. 2* se muestran las actividades que se desarrollaron para lograr el primer objetivo específico correspondiente al paso 1 de la metodología general.

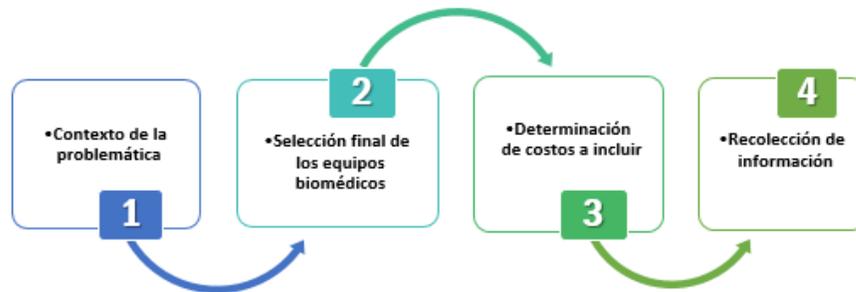


Fig. 2. Metodología correspondiente al primer objetivo específico.

### 1) Contexto de la problemática

Inicialmente se discutió con el jefe del departamento de ingeniería de la clínica la importancia y necesidad del proyecto. Vale la pena mencionar que este paso se realizó en varias ocasiones porque se presentaron dos cambios de jefe y se debía llegar a un acuerdo sobre las decisiones tomadas por las personas involucradas. Finalmente siempre se llegaba a un resultado común, no se cuenta con un modelo desarrollado anteriormente para el cálculo del costo del mantenimiento anual de los equipos y este es requerido para dar sustento del valor de inversión realizado para asegurar el mantenimiento de los equipos; también es necesario para presentar indicadores de costos que permitan el control y seguimiento de los mismos, además, es importante para el cálculo del presupuesto del año siguiente y por último, también hace parte de la evaluación económica en el análisis de obsolescencia.

### 2) Selección final de los equipos biomédicos

Luego de una contextualización sobre el tema, se determinaron los alcances del proyecto. Fue extraída la base de datos con el listado de todos los equipos que pertenecen a la clínica mediante el software Keeper, posteriormente, se aplicaron unos filtros según las indicaciones del jefe del área, obteniendo así el listado de la tecnología a la cual se le aplicaría el cálculo del costo total de mantenimiento para el año 2021.

### *3) Determinación de costos a incluir*

Para este caso, se realizó una revisión bibliográfica de trabajos relacionados con el proyecto, para así poder tener un listado de posibles costos a incluir en la suma del valor final de mantenimiento. Después de tener los costos más comunes, se tuvo nuevamente una discusión con el jefe del departamento de ingeniería de la clínica en el que se concluyó que, según las necesidades, los costos a tener en cuenta en este proyecto serían los repuestos, la mano de obra del personal que pertenece al área de ingeniería y el valor de los contratos con los proveedores externos.

### *4) Recolección de información para la implementación de la herramienta*

Una vez se establecieron los aspectos económicos a tener en cuenta, se obtuvo la información requerida de los costos de la siguiente manera. Para el cálculo del costo de la mano de obra, del software Keeper se extrajo en las órdenes asociadas a cada equipo el número de horas reportadas desde el inicio de generación de la orden, hasta el cierre de esta, además se validó esta información con la descripción de los trabajos realizados. Este proceso fue aplicado para los mantenimientos preventivos y correctivos del total de los equipos seleccionados para el proyecto.

Luego, desde el archivo “Solicitud de repuestos” que se tiene en la base de datos de la clínica se obtuvo el nombre, la cantidad y el valor de los repuestos adquiridos en 2021, así como también el equipo al cual estaba asociado. Finalmente, para el valor de los convenios con los proveedores externos, se hizo el análisis de los contratos que se tienen con los diferentes equipos para el año requerido, y se obtuvo el valor asociado para cada uno de ellos.

## *B. Desarrollar y aplicar una herramienta que permita realizar el cálculo de los costos de mantenimiento teniendo en cuenta todos los requerimientos identificados.*

Ahora bien, en la siguiente etapa del proyecto se desarrollaron las actividades requeridas para determinar la estructura de la herramienta y posteriormente su ejecución. En la Fig. 3 se observan dichas actividades que corresponden al segundo objetivo específico y al paso 2 de la metodología general anteriormente planteada.



Fig. 3. Metodología correspondiente al segundo objetivo específico.

### 1) *Diseño de la herramienta*

En esta etapa se consideraron varias opciones para la estructura de la herramienta, ya que debía incluir todos los aspectos económicos y a su vez, la información debía estar clasificada de tal forma que se pudiera extraer fácilmente los datos para calcular posteriormente los indicadores. Dicho esto, en un archivo de Excel, se incluyó un libro principal en el que se cuenta con el nombre de todos los equipos a evaluar, la ubicación del servicio donde se encuentra, la marca, la serie del equipo y el código interno para ser identificados, además de columnas que indican el valor del costo total de repuestos y el valor del costo total del mantenimiento. De forma similar, se tienen 12 hojas más en el mismo archivo para cada uno de los meses del año, donde se cuenta con la misma información de los equipos ya antes mencionada.

### 2) *Elaboración de la herramienta*

Después de tener establecido el diseño de la herramienta, se procedió con su elaboración en Excel para un total de 13 hojas, una principal en la que se muestra el resultado total de los costos y 12 hojas más en las que solo se tiene el valor de inversión para ese mes en específico. Para obtener el resultado de los costos en cada caso, se implementaron diferentes fórmulas que agrupaban celdas dependiendo del resultado requerido.

### 3) *Implementación de la herramienta*

Por último, se diligenció la herramienta con la información recolectada de todos los equipos a evaluar. Se llenaron mes a mes las horas de trabajo invertidas en mantenimientos preventivos y correctivos de cada equipo, posteriormente se incluyeron los repuestos y, por último, se asignó el valor de los contratos con los proveedores externos según fuera el caso. Una vez se comprobó que

la herramienta estaba funcionando correctamente, se aplicaron los mismos pasos al resto de los equipos en los demás servicios de la clínica obteniendo así los valores finales para el costo de repuestos y el costo de mantenimiento.

*C. Definir indicadores de gestión del costo de mantenimiento que permitan la toma de decisiones en cuanto a procesos de baja, obsolescencia y renovación de la tecnología biomédica.*

En la tercera parte del proyecto, se establecieron y aplicaron indicadores de costos para los resultados obtenidos en el punto anterior con el fin de tener mediciones precisas de la gestión económica de mantenimiento y proceder con el respectivo análisis. En la Fig. 4 se presentan las dos actividades realizadas para el cumplimiento del tercer objetivo específico y que se refieren al paso 3 del esquema de la metodología general.



Fig. 4. Metodología correspondiente al tercer objetivo específico.

*1) Determinación de indicadores de costos a incluir en el proyecto*

De igual forma que en la determinación de los costos a incluir, en este punto se realizó nuevamente una revisión bibliográfica de los indicadores más relevantes en este tipo de trabajos. Luego se presentaron al jefe de ingeniería quien estableció cuáles eran los que se necesitaban evaluar, estos fueron costo total de mantenimiento, costo por mes, costo por servicio, costo por marca y costo por tipo de repuesto.

*2) Cálculo de indicadores establecidos*

Una vez se estableció cuáles eran los indicadores a tener en cuenta, se extrajo de la herramienta los valores según la clasificación requerida, se organizó la información obtenida en

tablas y se realizaron diagramas para una visualización mejor de los resultados obtenidos. A su vez, en esta parte del proyecto también se validó la información calculada con la herramienta, cada indicador concordaba con los costos ya antes realizados.

*D. Evaluar y ajustar la herramienta diseñada de acuerdo con los hallazgos obtenidos en su validación y a los indicadores de gestión planteados.*

La etapa final del proyecto se compone de actividades de validación y ajuste de la herramienta para poder ser entregada y usada posteriormente en el área de ingeniería de la clínica. Los pasos a seguir para lograr el cuarto objetivo específico se encuentran en la Fig. 5 mostrada a continuación y estos a su vez detallan el último paso de la metodología general.



Fig. 5. Metodología correspondiente al cuarto objetivo específico.

*1) Revisión y validación de la herramienta*

La validación de la herramienta se hizo por medio de la implementación de esta en la clínica en un servicio en particular, mediante la técnica de investigación de grupo focal en la que se tuvo en cuenta el criterio del personal de ingeniería para la elección de este, teniendo en cuenta importancia y complejidad. Se realizó el costo de mantenimiento de este servicio en específico junto con los indicadores y demás resultados requeridos para el análisis, con el fin de evaluar el gasto total que genera el servicio y a su vez, los equipos que presentan gastos más elevados en el área seleccionada y determinar las razones a las que se debe este incremento.

*2) Realización de ajustes necesarios a la herramienta*

Luego se realizaron los ajustes necesarios y las mejoras requeridas para obtener una mejor visualización e interpretación de los resultados que arroja la herramienta.

*3) Instructivo y capacitación sobre uso de la herramienta*

Se programó una capacitación para llevar a cabo una demostración del uso de la herramienta. Además, en esta se presentará un instructivo de tipo guía rápida para el personal de ingeniería de la clínica en el que se muestra la forma de adquisición de la información y el uso adecuado de la herramienta.

## V. RESULTADOS

Con base en el desarrollo de la metodología implementada para lograr el objetivo general y los objetivos específicos, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación para cada una de las etapas que se ejecutaron en este proyecto. Además, se hace la aclaración de que los resultados calculados se obtienen de la información interna de la Clínica Cardio VID.

### A. Primer objetivo específico: Identificación y análisis de la información requerida

Luego de extraer la base de datos de la tecnología médica perteneciente a la clínica del software Keeper y aplicar los criterios de inclusión establecidos, se obtuvo que el cálculo del costo total de mantenimiento debía ser aplicado a 537 equipos médicos. En la Fig. 6 se puede apreciar el orden de los filtros aplicados para obtener la cantidad total de equipos a evaluar.

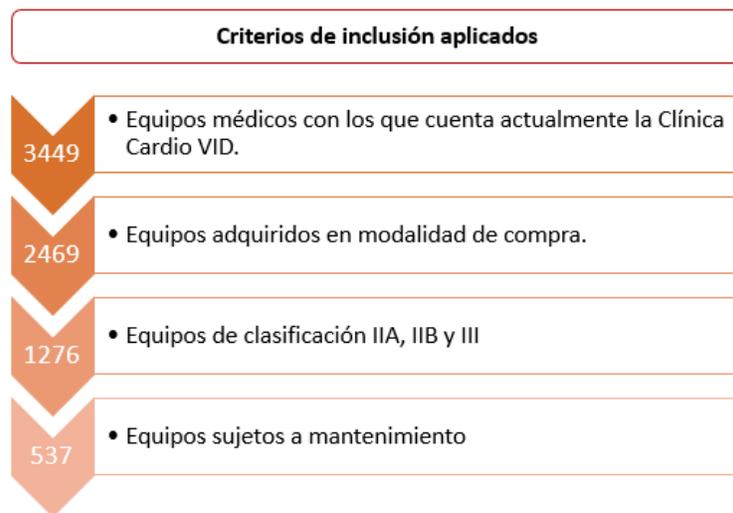


Fig. 6. Selección de los equipos médicos a evaluar.

En un principio, se decidió incluir solamente los equipos adquiridos en modalidad de compra dejando de lado las donaciones, comodatos y demostraciones debido a que los acuerdos y contratos que se tienen con estos proveedores no generan un gran incremento en los costos al

momento de renovar la tecnología o incluso durante su soporte técnico en caso de que lo incluya, mientras que los equipos que fueron comprados no tienen en su mayoría un contrato con soporte técnico externo, y en caso de requerir renovación de la tecnología se debe hacer nuevamente una inversión mayor. Dicho lo anterior, la trazabilidad y el control que debe llevarse respecto al valor en gasto de mantenimientos y repuestos se realizó solo a los activos fijos de la clínica.

Luego, se determinó que los dispositivos de clasificación I de acuerdo con el INVIMA como equipos de órganos, fonendoscopios, termómetros, entre otros, no poseen un valor considerable en su costo inicial ni en su sustento, por lo que también fueron descartados para este trabajo. Por último, fueron excluidos también aquellos equipos que no estuvieran sujetos a mantenimientos preventivos o que solo requerían evaluación de mediciones, para obtener así, el listado de los equipos con el que finalmente se trabajó.

Continuando con el desarrollo de las actividades, después de la revisión bibliográfica que determinó los costos a incluir en la herramienta, se obtuvo la siguiente información consignada en la Tabla I.

Tabla I. Listado de posibles costos a incluir en la herramienta

Clasificación	Costos	Descripción	Seleccionado	Descartado
Costos directos	Mano de obra	Tiempo invertido del personal del área de ingeniería en mantenimientos preventivos y correctivos	X	
	Repuestos	Costo de repuestos adquiridos para los equipos seleccionados en el año 2021	X	
	Contrato con proveedores externos	Costo de mantenimiento asociado a cada equipo incluido en contratos vigentes para el año 2021	X	
Costos indirectos	Herramientas	Utensilios requeridos para mantenimientos como destornilladores, multímetros, etc.		X
	Implementos para limpieza	Elementos para limpieza y desinfección como alcohol, toallas, arsol, etc.		X
	Otros insumos	Demás implementos requeridos para realizar mantenimientos como guantes, papelería, agua, entre otros.		X

Para terminar la primera etapa del proyecto, luego de tener determinados los costos necesarios, se recolectó la información necesaria para cada uno de los equipos. A continuación, en la Tabla II, se puede observar un ejemplo de los datos que fueron necesarios incluir de cada equipo para su identificación. Además de incluir el tiempo de horas de mantenimientos preventivos y correctivos, el total de los repuestos y el valor del contrato con el proveedor externo en caso de tenerlo.

Tabla II. Recolección de información requerida para cada equipo

Nombre	Servicio	Marca	Código Interno	Serie	Modelo	Total repuestos	Tiempo Mantenimiento Preventivo	Total Mantenimientos Correctivos	Tiempo Mantenimiento Correctivo	Contrato Proveedor externo
DESFIBRILADOR	UCC CUIDADOS CORONARIOS	NIHON KOHDEN	BMDF-DESF138	120	TEC-5521E	\$3.033.481	1	3	4	\$0
ECOCARDIOGRAFO	ECOCARDIOGRAFIA PEDIATRICA	PHILIPS	BMEC-ECOCAR019	US215B0025	EPIQ.7	\$0	1	0	0	\$4.424.420
GRABADORA HOLTER	HOLTER	SPACELABS HEALTHCARE	BMHO-GRHOL59	EVO-006271	EVO	\$0	2	1	1	\$0
MAQUINA DE ANESTESIA	CIRUGIA	DRAEGER COLOMBIA S.A	BMMA-MAQAN017	ASCL-0128	PRIMUS	\$0	2	0	0	\$1.232.372
MAQUINA DE ANESTESIA	HEMODINAMICA Y ELECTROFISIOLOGIA	DATEX OHMEDA	BMMA-MAQAN013	ANCL00258	AESPIRE 7900	\$1.368.500	0	0	0	\$0

### *B. Segundo objetivo específico: Desarrollo y aplicación de la herramienta*

En esta etapa se obtuvo la estructura de la herramienta, la cual fue diseñada en Excel debido a que se hace un gran uso de este software para otros archivos en ingeniería por lo que no sería una novedad su uso y además se tuvieron en cuenta todos los criterios y costos previamente establecidos. El modelo final se puede observar en las Fig. 7 y Fig. 8 donde se tiene la hoja en la que se pueden observar los resultados globales o totales en el año y el diseño de las hojas donde se realizó el cálculo por cada mes respectivamente.



*C. Tercer objetivo específico: Definición de indicadores*

De igual forma que en la primera etapa del proyecto, luego de realizar la revisión bibliográfica se obtuvo nuevamente un listado como se observa en la Tabla IV que contiene los indicadores de costos más comúnmente usados y de estos, fueron escogidos 5.

Tabla IV. Listado de posibles indicadores de costos a calcular

<b>Indicadores</b>	<b>Seleccionado</b>	<b>Descartado</b>
Costo total de mantenimiento	X	
Costo por mes	X	
Costo por servicios	X	
Costo por marca	X	
Tipo de repuesto más adquirido	X	
Relación entre costo de adquisición y costo de mantenimiento por año		X
Relación entre mantenimientos correctivos y preventivos		X

Ahora bien, los indicadores establecidos fueron implementados a los resultados previamente calculados con la herramienta, teniendo así los datos que se muestran a continuación en las diferentes tablas y gráficos circulares y de barras.

En la Tabla V y en las Fig. 9, Fig. 10 y Fig. 11 se tienen los resultados para el primer indicador, que determinó el valor de costos por cada mes. Allí se puede apreciar que el mes en el que se tiene un mayor gasto para mantenimiento es marzo, con un total de \$302.402.390, mientras que en el mes en el que se generaron menos costos fue en abril con un valor de \$35.429.314 teniendo así una diferencia entre ambos meses de \$266.973.076.

Tabla V. Indicadores de costos por mes

Mes	Costo Total de Repuestos	Tiempo de Mantenimiento Preventivo (Horas)	Mantenimientos Correctivos	Tiempo de Mantenimiento Correctivo (Horas)	Costo Total de Mantenimiento
Enero	\$4.931.981	196	41	83	\$57.603.535
Febrero	\$22.415.914	162	47	109	\$255.959.316
Marzo	\$22.961.204	159	50	96	\$302.402.390
Abril	\$18.733.226	39	37	59	\$35.429.314
Mayo	\$14.875.252	118	39	72	\$267.006.559
Junio	\$23.322.607	97	38	62	\$152.816.794
Julio	\$34.328.703	196	38	66	\$88.237.185
Agosto	\$14.045.674	147	51	80	\$231.268.472
Septiembre	\$29.029.065	154	67	130	\$247.089.848
Octubre	\$19.816.192	113	42	108	\$125.265.079
Noviembre	\$25.112.545	88	49	99	\$93.341.230
Diciembre	\$11.583.170	99	68	125	\$279.163.825

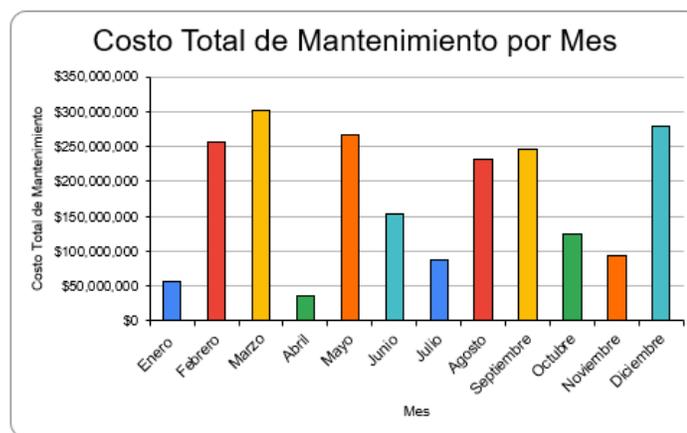


Fig. 9. Diagrama de barras del costo de mantenimiento por mes

Continuando con los resultados del primer indicador se tiene que el costo de los repuestos fue mayor en el mes de julio con un valor de \$34.328.703, debido a que el último pico de la pandemia de este año empezó aproximadamente en mayo, por lo que para este mes se vería reflejado el uso diario de los equipos y, por lo tanto, su deterioro en menor tiempo; mientras que el mes con el menor costo para este caso fue enero, con un valor de \$4.931.981. Aun así, el mes de julio fue uno de los meses con menor valor de mantenimiento y también de los meses con menos mantenimientos correctivos efectuados. Por último, el mes donde se presentaron más correctivos fue diciembre con 68 y el mes con menos correctivos fue el mes de abril con 37, datos que coinciden con el costo del mantenimiento correspondiente a estos mismos meses.

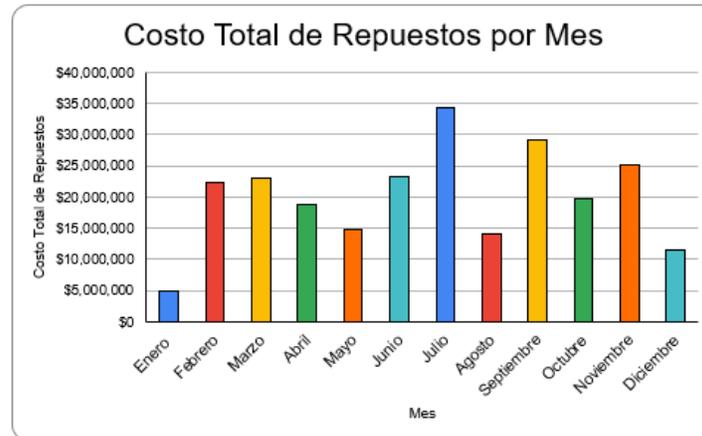


Fig. 10. Diagrama de barras del total de repuestos adquiridos por mes

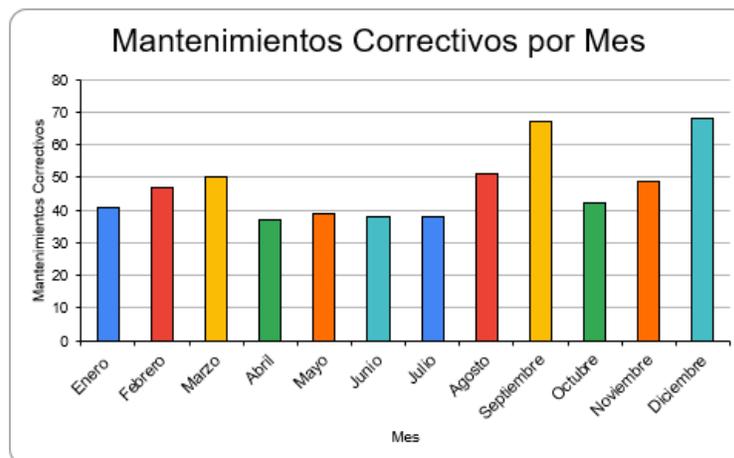


Fig. 11. Diagrama de barras de mantenimientos correctivos realizados por mes

Posteriormente, para el indicador de costos por servicio se tienen los resultados que se muestran en la Tabla VI y en las Fig. 12, Fig. 13 y Fig. 14. En este caso, el servicio que más generó gastos en mantenimiento fue el servicio de Hemodinámica y Electrofisiología, seguido de Rayos X y luego la Unidad de Cuidados Intensivos Adultos con valores de \$1.432.607.585, \$246.211.189 y \$85.589.934 respectivamente. Por otra parte, los servicios con menos gastos de mantenimiento al año fueron Laboratorio Clínico y Consulta externa, con costos de \$175.926 y \$333.629 respectivamente.

Tabla VI. Indicadores de costos por servicio

Servicio	Costo Total de Repuestos	Mantenimientos Correctivos	Costo Total de Mantenimiento
Ayudas Diagnósticas	\$11.763.976	69	\$4.282.721
Central de Esterilización	\$32.994.830	7	\$53.711.170
Cirugía	\$50.946.049	50	\$81.965.330
Consulta Externa	\$120.666	7	\$333.629
Consulta Externa Ciudad del Río	\$4.928.893	43	\$8.075.392
Hemodinámica y Electrofisiología	\$13.807.388	70	\$1.432.607.585
Hospitalización Juan XXIII	\$2.459.980	23	\$2.997.018
Hospitalización Primer Piso	\$1.960.153	23	\$2.450.894
Hospitalización Segundo Sur	\$3.722.662	11	\$4.102.292
Laboratorio Clínico	\$0	2	\$175.926
Laboratorio de Válvulas	\$6.473.800	2	\$8.351.807
Mantenimiento e Ingeniería	\$17.608.264	7	\$37.090.323
Neumología	\$6.552.530	17	\$11.204.536
Rayos X	\$11.998.532	21	\$246.211.189
Rehabilitación Cardiovascular	\$1.050.715	4	\$1.263.678
UCC Cuidados Coronarios	\$15.741.777	68	\$31.075.096
UCIA Cuidados Intensivos Adultos	\$42.416.852	66	\$85.589.934
UCIP Cuidados Intensivos Pediátricos	\$10.030.325	35	\$31.971.711
Urgencias	\$6.757.868	42	\$10.560.434

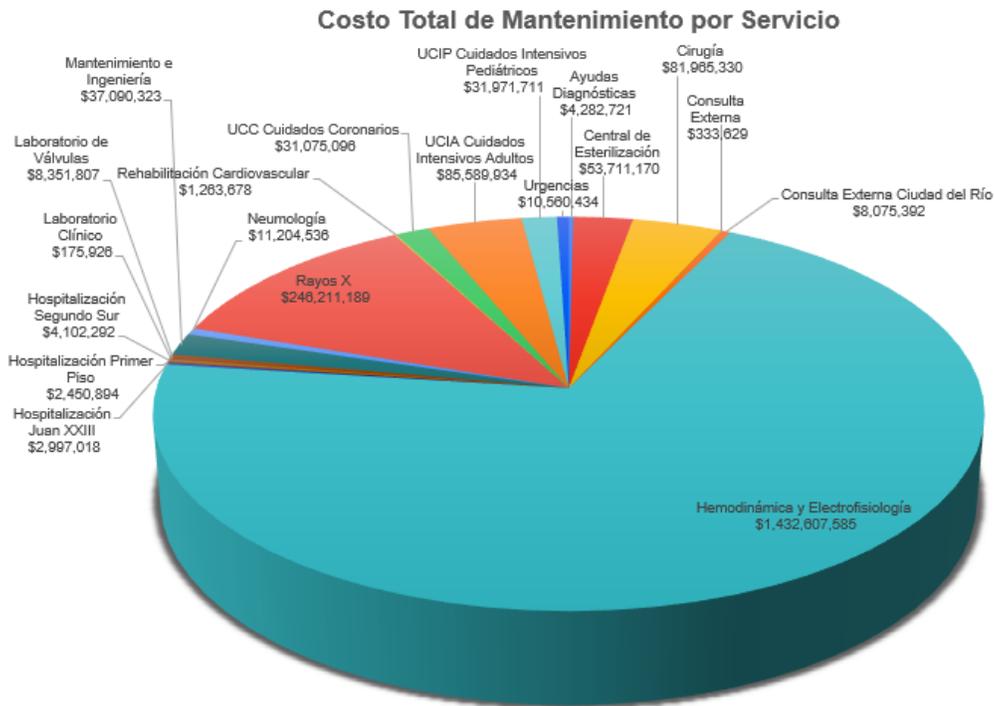


Fig. 12. Diagrama circular del costo de mantenimiento por servicio

Así mismo, el servicio de UCI Adultos fue el que presentó el segundo lugar en gasto en los repuestos adquiridos en el año con un total de \$42.416.852 mientras que el servicio con mayor cantidad de gastos en repuestos fue Cirugía con \$50.946.049 invertidos. De igual forma, el servicio de Laboratorio Clínico fue quien menos gastos generó en este aspecto ya que no se adquirieron repuestos para ese año y además solo tuvo 2 mantenimientos correctivos, al igual que Laboratorio de Válvulas y en el servicio donde más se realizaron mantenimientos correctivos fue en ayudas diagnósticas con un total de 69.

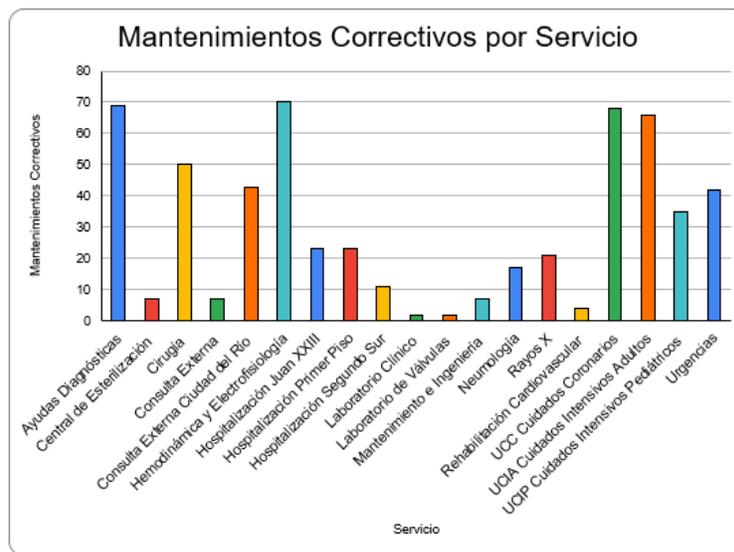


Fig. 13. Diagrama de barras de mantenimientos correctivos realizados por servicio

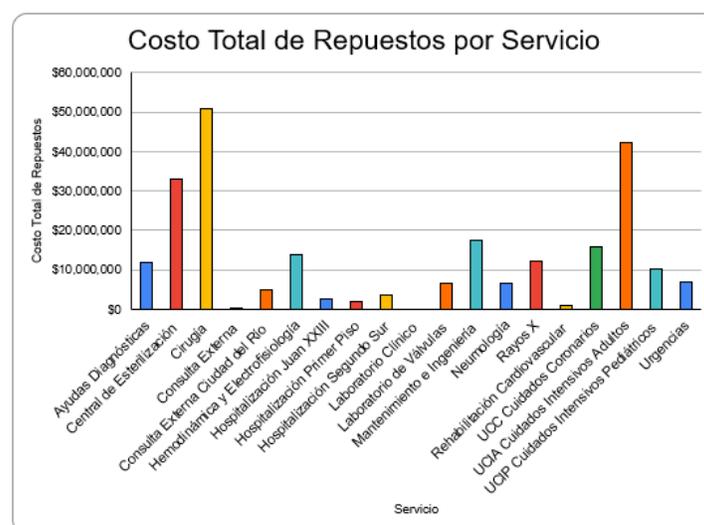


Fig. 14. Diagrama de barras del total de repuestos adquiridos por servicio

Para el caso del indicador de costos por marca se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla VII y en las Fig. 16, Fig. 17 y Fig. 18. Aquí se puede apreciar que igual que en el indicador anterior, la marca que más gastos genera en mantenimiento es Philips con \$1.423.156.148 que es la que compone la mayoría de los equipos en Hemodinámica y Electrofisiología, de ahí su coincidencia en ambos indicadores. Luego continúa Siemens con \$188.184.189. Por otra parte, se tiene que Datascope es la marca que menos gastos representa en costos de mantenimiento ya que su inversión en el año fue de \$138.889 y solo fue necesario ejecutar un mantenimiento correctivo en todo el año.

Tabla VII. Indicadores de costos por marca

Marca	Costo Total de Repuestos	Mantenimientos Correctivos	Costo Total de Mantenimiento	Cantidad de equipos
AMICO	\$16.163.264	4	\$20.213.264	2
BAIR HUGGER	\$0	21	\$703.707	11
BCI	\$484.000	8	\$613.630	6
CARESTREAM	\$0	4	\$33.807.102	3
CINCINNATI	\$0	2	\$379.630	3
COVIDIEN	\$2.737.000	4	\$3.502.292	12
DATASCOPE	\$0	1	\$138.889	7
DATEX OHMEDA	\$9.526.000	15	\$20.675.305	8
DRAEGER	\$39.654.529	49	\$80.739.979	44
FISHER Y PAYKEL	\$710.670	4	\$923.633	25
GENERAL ELECTRIC	\$0	7	\$48.437.087	7
HAMILTON MEDICAL	\$1.237.239	5	\$14.219.530	6
MEDGRAPHICS	\$222.530	0	\$1.781.573	2
MEDTRONIC	\$10.972.999	14	\$11.787.814	33
MINDRAY	\$17.558.397	55	\$27.294.675	44
NIHON KOHDEN	\$46.764.154	187	\$49.804.865	85
OLYMPUS	\$2.618.000	8	\$2.840.222	3
PHILIPS	\$0	20	\$1.423.156.148	7
PURITAN BENNETT	\$0	3	\$32.682.578	8
QUANTUM	\$11.213.132	5	\$28.241.683	1
SIEMENS	\$785.400	9	\$188.184.189	7
SPACELABS HEALTHCARE	\$14.292.061	85	\$18.042.067	77
ST. JUDE	\$779.077	3	\$890.191	3
TUTTNAUER	\$24.287.900	3	\$31.427.230	3
VYASIS	\$3.775.000	8	\$3.086.111	6

Para este indicador también se obtuvo la relación entre la cantidad de equipos que se tiene por cada marca, tal como se observa en la Fig. 15. Según los resultados, Nihon Kohden es la marca con mayor cantidad de equipos en la clínica con un total de 85 que se encuentran distribuidos en varios de los servicios. Mientras que Quantum solo posee un equipo en la clínica y, aun así, este genera gastos de \$28.241.683 en mantenimiento.

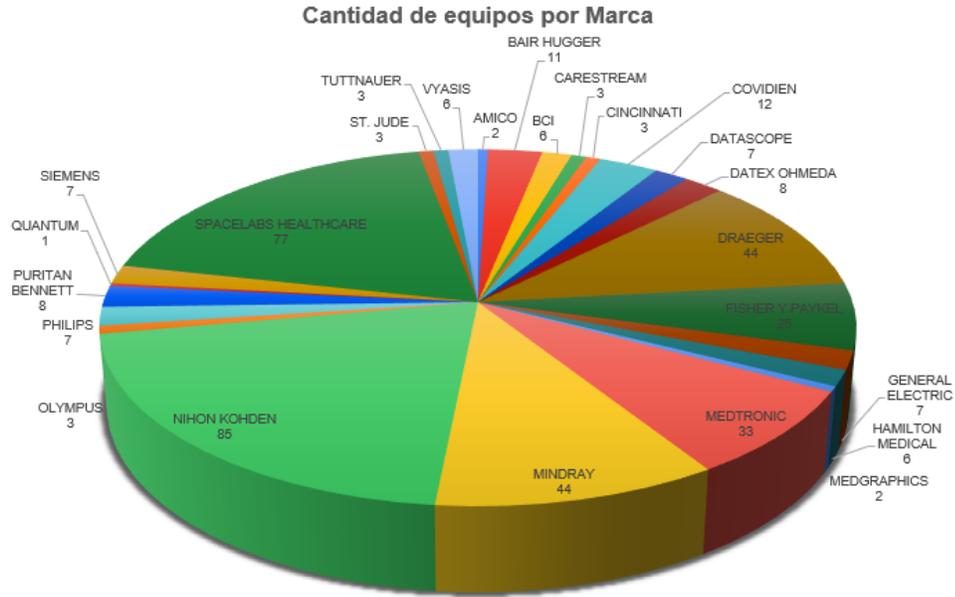


Fig. 15. Diagrama circular de la cantidad de equipos por marca

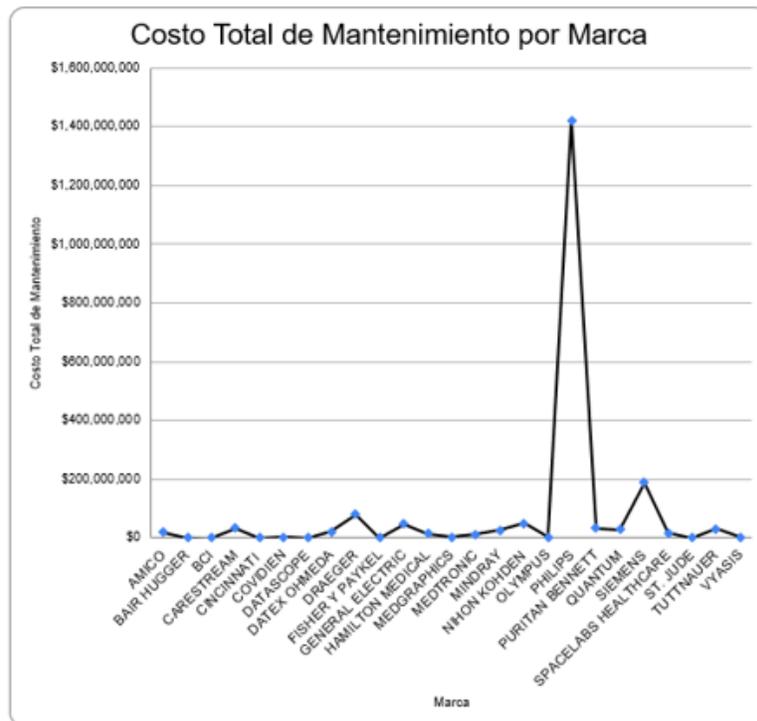


Fig. 16. Diagrama de barras del costo de mantenimiento por marca

Respecto al costo de repuestos por marca, se encontró también para este caso que Nihon Kohden es quien más gastos tuvo en ese año, \$46.764.154, mientras que hubo varias marcas que no representaron ningún costo como Bair Hugger, Carestream Cincinnati, General Electric, Philips y Puritan Bennet.

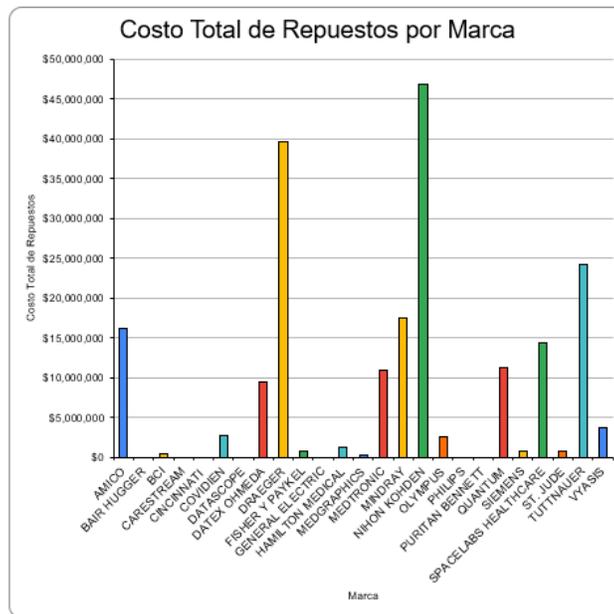


Fig. 17. Diagrama de barras del total de repuestos adquiridos por marca

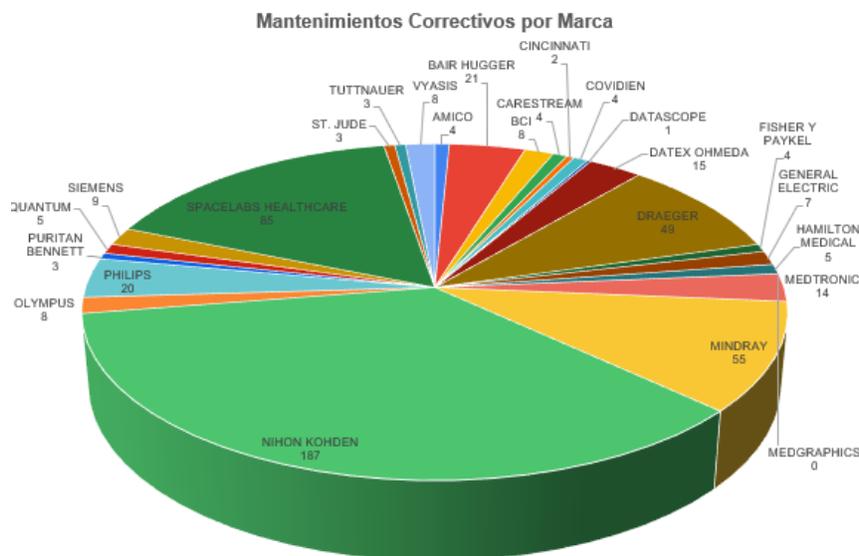


Fig. 18. Diagrama circular de mantenimientos correctivos realizados por marca

Por último, se tiene el indicador por tipo de repuestos en la Tabla VIII en la cual se presentan los tres más solicitados durante todo el año, la cantidad y el valor de costo total.

Tabla VIII. Indicador para los tipos de repuestos más solicitados

Tipo de repuesto	Cantidad solicitada en el año	Costo total
Sensores de oximetría	66	\$21.808.570
Baterías para monitor y desfibrilador	26	\$13.285.792
Cable de ECG y latiguillos	21	\$6.313.642

Los sensores de oximetría fueron los accesorios con mayor circulación en la clínica para el 2021 y el costo total de su adquisición fue de \$21.808.570, valor equivalente al 8.9% del valor total del costo de todos los repuestos adquiridos en el año.

#### *D. Cuarto objetivo específico: Evaluación y ajuste de la herramienta*

Finalmente, para la validación de la herramienta diseñada, se escogió por criterio del personal de ingeniería qué servicio sería más importante y permitiría mayor entrega de información. Dicho esto, el servicio seleccionado fue cirugía para el cálculo del mantenimiento de los equipos del servicio en el año 2021. Este servicio presenta variedad en los equipos con y sin contrato con proveedor externo, además hay varios tipos de equipos con diferentes marcas y su flujo de pacientes en el año es constante, por lo que los equipos son usados con frecuencia, lo que implica una inversión en mantenimientos para mantener su correcto funcionamiento. Con la inclusión de estos parámetros, es posible obtener una validación acertada y satisfactoria de la herramienta. A continuación, se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología para este caso.

Tabla IX. Resultado del costo anual de mantenimiento para el servicio de cirugía

	Total de correctivos efectuados al año en el servicio	Costo total de repuestos adquiridos en el servicio en 2021	Costo total de mantenimiento anual para cirugía (2021)
Valor total	50	\$50.946.049	\$81.965.330

En la Tabla IX se presenta el costo anual de mantenimiento para el servicio de cirugía con un valor de \$81.965.330, para los repuestos una inversión de \$50.946.049 y 50 mantenimientos correctivos ejecutados.

Posteriormente, se aplicaron los indicadores planteados excepto el de costos por servicio por lo que para la validación solo se tuvo en cuenta cirugía. Los resultados obtenidos para el caso del costo por mes se observan en la Tabla X.

Tabla X. Indicador de costos para cirugía por mes

Mes	Costo Total de Repuestos	Tiempo de Mantenimiento Preventivo (Horas)	Mantenimientos Correctivos	Tiempo de Mantenimiento Correctivo (Horas)	Costo Total de Mantenimiento
Enero	\$0	52	3	7	\$13.645.009
Febrero	\$8.078.074	15	6	15	\$8.355.852
Marzo	\$1.020.000	11	3	6	\$2.507.026
Abril	\$4.396.244	15	6	10	\$6.690.887
Mayo	\$2.737.000	6	2	3	\$2.820.333
Junio	\$7.484.477	20	5	12	\$7.780.773
Julio	\$12.842.600	25	4	7	\$15.603.640
Agosto	\$5.108.774	18	3	7	\$10.213.420
Septiembre	\$4.165.000	13	7	26	\$5.877.137
Octubre	\$0	23	2	7	\$277.778
Noviembre	\$7.850.880	7	2	2	\$7.934.213
Diciembre	\$0	14	7	14	\$259.259

Según los resultados obtenidos, el mes donde más se presenta un incremento en el costo de mantenimiento fue julio con \$15.603.640, además este valor concuerda con el mes donde más inversión se realizó en los repuestos con un total de \$12.842600. Por otra parte, respecto a los mantenimientos, en septiembre y en diciembre fue donde más fallas se presentaron en los equipos al ejecutar mayor cantidad de mantenimientos correctivos.

Luego para las marcas de los equipos que se tienen en cirugía se implementó el indicador correspondiente, y los resultados hallados son los que se observan en la Tabla XI.

Tabla XI. Indicador de costos por marca para cirugía

Marca	Costo Total de Repuestos	Mantenimientos Correctivos	Costo Total de Mantenimiento	Cantidad de equipos
BAIR HUGGER	\$0	4	\$138.889	3
DATEX OHMEDA	\$5.750.000	4	\$8.551.015	2
DRAEGER	\$12.587.627	9	\$27.698.630	9
MEDTRONIC	\$10.972.999	6	\$11.324.851	10
MINDRAY	\$1.651.244	2	\$3.834.776	5
NIHON KOHDEN	\$5.965.805	11	\$6.345.435	11

La marca que tiene mayor cantidad de equipos en cirugía es Nihon Kohden, de tipo monitores y desfibriladores. Seguido de Medtronic, este es el segundo proveedor en valor de costos de mantenimiento y repuestos, siendo Draeger el primero con un valor de \$27.698.630 y \$12.587627 respectivamente.

Por último, el tipo de repuesto que fue más solicitado en el servicio fueron las baterías para monitor y desfibrilador con un total de 14 y un costo de \$6.262.361. Este valor tiene una gran relación con el resultado presentado en la tabla anterior, ya que estos repuestos son para Nihon Kohden y esta es la marca dominante y con más cantidad de correctivos ejecutados.

Tabla XII. Indicador tipo de repuesto más solicitado en cirugía

Tipo de repuesto	Cantidad solicitada en el año	Costo total
Baterías para monitor y desfibrilador	14	\$6.262.361

Una vez calculados los resultados anteriores, se comprobó la veracidad de la herramienta con los valores obtenidos, esta contiene los criterios necesarios para obtener resultados confiables que fueron verificados por parte de la asesora externa, y algunos miembros del personal de ingeniería.

Además, en la revisión de la herramienta, se sugiere por parte de las mismas personas poder observar los resultados de forma más rápida porque en una tabla que contiene tantos valores se dificulta un poco, por lo que se realizaron algunos ajustes de tipo estético para identificar visualmente más fácil los resultados y las variaciones que se podían presentar. Por ejemplo, a los equipos que presentan contrato con proveedor externo se les subrayó en color azul para diferenciar e identificar de forma rápida la variación en los resultados en la hoja principal de la herramienta ya que su valor es mucho más elevado que los que tienen soporte técnico por parte del personal de ingeniería de la clínica. También, en los datos que se tenían para identificación de los equipos se

eliminó la columna con los datos de la placa, lo que indica el número de activo fijo de la clínica, ya que con el código interno es suficiente y este valor solo hacía más extensa la herramienta.

Respecto a los indicadores, se decidió implementar gráficos circulares y de barras que permitieran una mejor visualización de los resultados presentados en las tablas, estos con colores, datos y leyendas legibles, ya que se implementaron inicialmente solo gráficos de barras y de línea, pero para algunos valores no era posible apreciar los resultados logrados y se presentaban confusiones. Luego de realizar estos cambios se obtuvo la aprobación final por parte del grupo focal con el que inicialmente se comenzó la validación.

Una vez finalizada la validación se comprueba su correcto funcionamiento en cuanto a fórmulas y organización, seguido de esto, se implementa el instructivo de tipo guía rápida para el uso de la herramienta en el cálculo del costo de mantenimiento de años posteriores por parte del personal de ingeniería de la clínica. Este instructivo implementado es anexo al proyecto (Anexo 2).

## VI. ANÁLISIS

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes objetivos específicos fue posible evidenciar el costo anual de mantenimiento para los equipos inicialmente seleccionados, además de una serie de indicadores que son de gran utilidad ya que permiten medir e identificar de una forma más fácil los diferentes costos.

Inicialmente, para el indicador de costos por mes se analizó que el mes con mayor incremento en el costo de mantenimiento fue marzo como se muestra en la Fig. 9 y esto puede deberse a dos principales razones. En el 2020 se presentó la pandemia del COVID 19 junto con sus picos más relevantes, esto hizo que los equipos tuvieran muchas variaciones en las horas de trabajo, además de que al tener pacientes aislados los mantenimientos preventivos debían posponerse, por lo que para esta fecha los equipos registraron mayor cantidad de fallas y por ende más gastos. Y, por otra parte, este mes incluye los mantenimientos preventivos de dos equipos de marca Philips y estos debido a su alto costo, hacen que se incremente en gran parte este valor de mantenimiento.

En este orden de ideas, también se evidenció que los meses donde se presentó mayor inversión en la compra de repuestos fueron julio y septiembre, resultado que se observó en la Fig. 10, lo que concuerda con los resultados de los demás indicadores, ya que para el caso de los mantenimientos correctivos los dos meses con mayores fallas fueron diciembre y septiembre, comprobando así que para finales de 2021 fue donde se vio reflejado las consecuencias de la pandemia en los equipos médicos. Por otra parte, de la Tabla V también es posible evidenciar que los meses en los que se tienen programados más mantenimientos preventivos es en enero y julio, lo que indica que para estos dos meses se tiene un mayor costo en la mano de obra del personal.

Ahora bien, respecto al indicador de costos por servicio se obtuvo que Hemodinámica y Electrofisiología es el servicio que más gastos generó en el total de mantenimiento en el 2021, debido a que allí se encuentran cuatro angiógrafos, que son los equipos con el contrato con proveedor externo vigente más costoso de la Clínica. En el segundo lugar se tiene el servicio de

---

rayos X cuyo contrato de Siemens también posee un valor elevado, luego está el servicio de UCI Adultos con mayor cantidad de gastos generados para el valor total de mantenimiento, estos resultados se presentan en la Fig. 12 y se debe también a las razones antes mencionadas. En el transcurso de la pandemia uno de los servicios más afectados fue UCI Adultos debido a que mantenía en su límite de capacidad y los equipos en funcionamiento todo el tiempo, generando así daños de forma frecuente y compra de más cantidad de repuestos. De forma contraria, el servicio que menos gastos genera en el total de mantenimiento es Consulta Externa a causa de que allí se cuentan con equipos básicos como básculas y tensiómetros, y estos no son incluidos en este proyecto, por lo que no se evidencian los gastos que estos puedan generar.

Para el caso del indicador de costos por marca que se observa en la Tabla VII, al igual que en el caso anterior, el proveedor con mayor costo en el mantenimiento anual es Philips, por el contrato que posee este con la clínica y su alto costo de soporte técnico para los angiógrafos. A este le sigue la marca Siemens que incluye en su contrato equipos como el tomógrafo y los equipos de rayos x portátiles. En tercer lugar, se encuentra Draeger con la que también se tiene contrato para algunos de sus equipos, como los ventiladores y las máquinas de anestesia. A su vez, la mayoría de los monitores que pertenecen a la UCI Adultos, son de marca Draeger, dato que concuerda con el incremento del costo de mantenimiento de este servicio.

Por otra parte, para el caso de los repuestos asociados a las marcas como se ilustra en la Fig. 17 se tienen casos específicos con los proveedores como Philips y General Electric a los cuales no se les tiene asociado un valor de repuestos, ya que estos son incluidos en su totalidad en los contratos que se tienen con clínica. Mientras que para la marca Nihon Kohden se tiene el mayor gasto en repuestos y a su vez, es la marca con mayor cantidad de equipos en la clínica de tipo monitores de signos vitales y desfibriladores.

En el último indicador de costos por tipo de repuesto se encontró que los sensores de oximetría fueron los repuestos más solicitados con un total de 66 en el año, esto se debe a que es un accesorio de alta rotación y no se le da el uso y cuidado adecuados, dentro de sus posibles fallas la más común es por fisuras internas en el cable.

Dentro de este orden de ideas también es importante mencionar que según la Tabla III el total del costo invertido en repuestos para el 2021 equivale a un 11,46% del valor total del costo de mantenimiento.

Por otra parte, en la herramienta desarrollada es posible ver que existen varios equipos que no presentan órdenes asociadas, es decir, no tenían cronograma de mantenimiento preventivo y tampoco correctivos reportados por lo que no fue posible calcular el costo del mantenimiento para estos equipos.

Además, se visualizó que los equipos que tienen contrato con proveedor externo tienen costo mayor en comparación con los equipos a los cuales se les brinda soporte técnico con el personal de la clínica, debido a que el costo por hora de mantenimiento es muy económico y de igual valor si es para realizar un mantenimiento preventivo o un correctivo sin importar el nivel de dificultad de trabajo.

Finalmente, en la revisión y validación que se le hizo a la herramienta en el servicio de cirugía junto con el criterio de la asesora externa y también con ayuda del instructivo, se encontraron resultados acertados mediante un proceso sencillo de aplicar, pero es importante tener en cuenta que, para obtener valores correctos, se debe realizar el debido reporte de las actividades y horas en el software Keeper y no pasar por alto ningún trabajo que se desempeñe.

## VII. CONCLUSIONES

- La gestión financiera del programa de mantenimiento es de gran importancia para las diferentes áreas y/o departamentos de una institución de salud, por lo que es fundamental conocer a detalle y llevar una trazabilidad de cuánto es el valor de costo invertido en el sustento de un equipo junto con el desglose de cada uno de los gastos que componen el resultado final. De este modo, los criterios a incluir para obtener el valor de inversión total deben ser lo más acertados posibles y así garantizar que los costos sean lo más exactos y confiables para ser usados en tomas de decisiones como presupuesto, evaluación de obsolescencia y renovación de la tecnología médica.
- Mediante el uso de la herramienta Excel fue posible clasificar y estructurar la información recolectada de tal manera que se logró crear el primero modelo implementado en la Clínica Cardio VID para realizar el cálculo del costo de mantenimiento para los equipos médicos en el año 2021. Este modelo está sujeto a modificaciones en trabajos futuros que permitan la optimización de la obtención de los datos para que siga siendo usado en la institución y se pueda llevar el control de los costos con el fin de medirlos y tomar decisiones oportunas que eviten un incremento muy elevado en los gastos de años posteriores.
- Los indicadores de costos implementados permitieron conocer de forma detallada los gastos que se presentaron en los diferentes servicios lo que permitirá evaluar posteriormente para su disminución si este aumento en el resultado es debido a que la tecnología ha superado su vida útil y se requiere hacer una reposición, si se está haciendo mal uso por parte del personal asistencial lo que está provocando daños de forma más frecuente, o si por el contrario, no existe una buena capacitación en el manejo de la tecnología lo que también provoca daños constantes.
- El resultado obtenido del costo anual de mantenimiento al aplicar la herramienta diseñada fue de gran uso para calcular la relación del costo de adquisición de la tecnología y el costo

de mantenimiento por año en la evaluación económica en el proyecto de análisis de obsolescencia que se realizó de forma paralela para los equipos del servicio de cirugía.

- Escoger el servicio de cirugía para la validación de la herramienta fue una decisión acertada debido a que se cuenta con todos los criterios de inclusión requeridos para comprobar el correcto funcionamiento y realización de los cálculos. Además, la planeación e incorporación de un instructivo para el uso posterior también fue de gran utilidad en este proceso junto con las mejoras y ajustes requeridos que permiten una mejor visualización e interpretación de los resultados.
- Finalmente, se concluye que la metodología presentada junto con los criterios e indicadores definidos para la herramienta, dieron cumplimiento a los objetivos del proyecto y permiten el cálculo del costo anual de mantenimiento de los equipos médicos y así contribuir con el análisis de gestión económica de mantenimiento en la Clínica Cardio VID.

## VIII. RECOMENDACIONES

Con base al proyecto desarrollado se realizan las siguientes recomendaciones para trabajos futuros, enfocados en la recolección de los datos para optimizar y reducir el tiempo invertido en completar la información requerida.

1. La inclusión de más costos e indicadores que permitan resultados más exactos y un análisis más profundo de los valores totales de mantenimiento hallados.
2. La optimización en la recolección de la información sobre el tiempo invertido en los mantenimientos preventivos y correctivos, debido a que para este trabajo se hizo de forma manual para cada uno de los equipos y fue el ítem que más horas de trabajo requirió.
3. El uso del software Keeper para la extracción directa de los costos por repuestos, ya que, de igual forma que en el punto anterior se realizó de forma manual, pero gracias al proyecto realizado en el que se adjunta a las órdenes de trabajo el repuesto utilizado junto con su costo, será mucho más fácil y rápido obtener este valor.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Salud y Protección Social[Minsalud], “Resolución No. 3100,” *República de Colombia*. p. 230, 2019.
- [2] “MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL DECRETO NUMERO 4725 DE 2005 26 DIC 2005 Por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios , permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano En ejercicio de las at,” 2005.
- [3] W. A. Martinez, “GERENCIA DEL MANTENIMIENTO HOSPITALES,” *Atlantic International University*. [Online]. Available: <https://issuu.com/dauga21/docs/gerencia-mantenimiento-hospitales>. [Accessed: 19-Jun-2022].
- [4] “Clínica Cardio VID.” [Online]. Available: <https://www.cardiovid.org.co/>. [Accessed: 19-Jun-2022].
- [5] J. Peralta-argomeda *et al.*, “METODOLOGÍA BASADA EN TCO PARA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS EN HOSPITALES PÚBLICOS DE ALTA COMPLEJIDAD,” *Ucv*, vol. I, no. 02, pp. 0–116, 2016.
- [6] I. R. Aragón and W. R. Muñoz, “Calculating the TCO of the migration project to Nova 5 . 0 Operating System,” vol. 10, pp. 317–326, 2016.
- [7] Ministerio de Salud Publica, “Manual de Instrucciones y Procedimientos de Costos en Salud,” *Man. costos en salud*, vol. 1, no. 1, pp. 1–93, 2009.
- [8] A. García Ibarra, “Guia Diligenciamiento de Propuesta de Indice de Obsolescencia de Equipos Biomedicos | PDF | normas internacionales de INFORMACION FINANCIERA | Contabilidad.”.
- [9] J. Balseiro and S. Romero, “Evaluación De La Capacidad Instalada En La Clínica Crecer,” 2021.
- [10] A. Azoy Capote, “Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento,” *Rev. Ing. Agrícola*, vol. 4, no. 4, pp. 45–49, 2014.
- [11] B. En, U. N. Hospital, E. N. El, V. Del, A. N. A. María, and C. López, “Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento de equipos biomédicos en un hospital en el Valle del Cauca,” 2017.
- [12] M. Meneses *et al.*, “APLICACION DEL METODO DELPHI PARA DETERMINAR EL COSTO MAXIMO ADMISIBLE EN MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS MEDICOS,” 2005.
- [13] “Páginas - Dispositivos médicos y equipos biomédicos.” [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/salud/MT/Paginas/dispositivos-medicos-equipos-biomedicos.aspx>. [Accessed: 20-Jun-2022].
- [14] M. Rodríguez, “Practica Organizacional Requerida: Programa De Mantenimiento Preventivo,” *Trauma*, pp. 1–45, 2015.

- [15] L. Sepulveda, A. Mosquera, and O. Gaviria, “ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA IDEAL DE COSTOS DE MANO DE OBRA PARA EL HOSPITAL GENERAL DE MEDELLIN,” *Univ. Medellín*, vol. 39, no. 1, pp. 1–15, 2014.
- [16] A. A. Herry López, “Protocolo sistematizado de obsolescencia y adquisición de equipos biomédicos de la Clínica Universitaria Medicina Integral,” *Univ. Antioquia*, p. 47, 2021.

## ANEXOS

Anexo 1. Implementación de la herramienta para el cálculo del costo de mantenimiento de los equipos biomédicos.

Anexo 2. Instructivo de tipo guía rápida sobre el uso de la de la herramienta para el cálculo de los costos en los siguientes años.