

**ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS ÓPTIMAS DE MANTENIMIENTO POR MÉTODOS ESTOCÁSTICOS. FASE 2: ADECUACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DE DATOS.**

**Federico Duque Minaya**

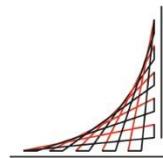
**Trabajo Dirigido para certificación de énfasis**

**Tutor**

**William Ricardo Rodríguez Dueñas**



**Universidad del  
Rosario**



**ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO  
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ D.C  
2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente a mi tutor por la ayuda, dedicación y conocimientos brindados para la elaboración de este trabajo dirigido, además de la guía proporcionada para culminarlo.

A mis padres por confiar, por los valores y principios que me han inculcado, y por el apoyo brindado.

A mis mejores amigos de toda la carrera que me acompañan desde siempre.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. OBJETIVOS .....	13
2.1. General .....	13
2.2. Específicos.....	13
3. METODOLOGÍA.....	14
4. RESULTADOS .....	16
5. DISCUSIÓN .....	19
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	21
7. CONCLUSIONES.....	22
8. BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS.....	24

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. TABLA DE RESULTADOS.....	16
Tabla 2. TABLA DE EQUIPOS Y ÓRDENES DE TRABAJO .....	16
Tabla 3. TABLA DE FRECUENCIAS DE FALLA Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP) POR FAMILIA .....	17
Tabla 4. TABLA DE FRECUENCIAS DE FALLA Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP) POR EQUIPO .....	17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gasto en Salud Pública en Colombia 2012-2016 (MINSALUD) .....	7
Figura 2. Gasto en Salud a partir del PIB (OCDE) .....	8
Figura 3. Relación Costo-Frecuencia de Inspección. ....	9
Figura 4. Ilustración Ventilador Mecánico .....	9
Figura 5. Mobiliario de la cama hospitalaria de un paciente.....	10
Figura 6. Central de monitoreo.....	10
Figura 7. Electrocardiógrafo Mindray .....	11
Figura 8. Cronograma de actividades .....	15
Figura 9. Tiempo de ejecución de un Ventilador mecánico.....	19

## LISTA DE ANEXOS.

Anexo 1. Datos Ventilador Mecánico.....	24
Anexo 2. Datos Camas de Hospitalización .....	24
Anexo 3. Datos Centrales de Monitoreo .....	25
Anexo 4. Datos Electrocardiógrafos .....	25
Anexo 5. Datos Monitor de Signos Vitales.....	26

## 1. INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Biomédica es una disciplina que relaciona el campo de la ingeniería con áreas de la salud, permitiendo generar soluciones técnicas desde la ingeniería enfocadas en el mejoramiento de la salud y vida del ser humano. Esta labor multidisciplinaria puede llevarse a cabo desde varias ópticas o ramas de esta ingeniería, tales como la instrumentación médica, el procesamiento de imágenes y señales médicas, la biomecánica, la rehabilitación y la ingeniería clínica y hospitalaria, entre otras [1].

En la Ingeniería Clínica, se encaminan esfuerzos en la gestión tecnológica y administrativa hospitalaria con el fin de alcanzar los mayores estándares para una excelente atención al paciente. Los esfuerzos que se realizan se basan en el mantenimiento orientado al riesgo del equipamiento médico, la gestión de contratos de servicio, la gestión del aprovisionamiento, la gestión de la adquisición de tecnologías médicas, la verificación para el uso seguro de los equipos (seguridad eléctrica) y la calibración de estos, la vigilancia tecnológica, la gestión de riesgos, la capacitación en tecnologías biomédicas, entre otras [2]. Específicamente, se desarrollan actividades puntuales e importantes en la ingeniería clínica, tales como el mantenimiento de equipos biomédicos. Estos, se dividen en dos tipos: el mantenimiento preventivo (MP) y correctivo (MC) [3].

Estos mantenimientos aseguran el buen estado del equipo para su correcto funcionamiento (garantizando la confiabilidad de este) y, consecuentemente, minimizar en gran medida efectos adversos sobre los pacientes y el personal médico que los manipula. Entonces, es imperativo generar un registro y trazabilidad de todos estos mantenimientos para identificar variables que permitan optimizar el uso de los equipos (disponibilidad de equipos) para una mejor gestión y prestación del servicio médico. Cabe aclarar que, esta disponibilidad se fundamenta en las frecuencias óptimas con las que se realizan los mantenimientos de los equipos y que optimizar esta variable, podría ser concluyente en saber cada cuanto se debe realizar un mantenimiento para no llegar al punto de presentarse una falla que incurra en algún daño al paciente, usuario o equipo. Adicionalmente, esta optimización en la disponibilidad del equipamiento biomédico permitiría gestionar los costos en los que se incurre al realizar dichos mantenimientos, permitiendo así decrementar el gasto en entidades de salud. [4].



Figura 1. Gasto en Salud Pública en Colombia 2012-2016 (MINSALUD) [5].

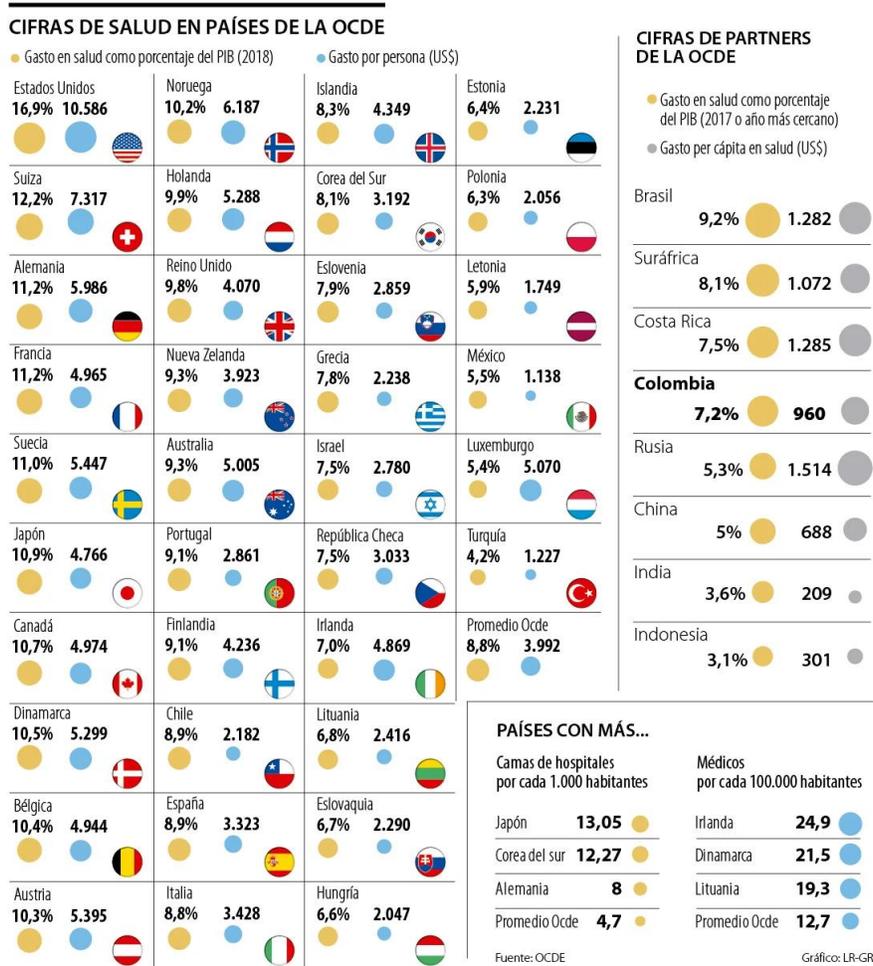


Figura 2. Gasto en salud a partir del PIB (OCDE) [6].

A partir de las figuras 1 y 2, podemos evidenciar cómo el gasto en salud es tan alto, del orden de los 1.56 Billones de pesos. Adicionalmente, se puede identificar que el gasto en salud para los países más desarrollados (Estados Unidos, Suiza, Alemania, Francia, Suecia, entre otros) es aún mayor debido a que poseen una mayor infraestructura respecto a servicios de salud y por tanto la diferencia que se observa. Por tanto, teniendo en cuenta la dimensión en el gasto en salud, podemos deducir que una gestión en los mantenimientos del equipamiento médico lograría reducir la cantidad de fallas que presenten los equipos, reduciendo de la mano con esto el costo de mantenimiento correctivo (repuestos) y en general del mantenimiento, generando opciones de reinversión de dinero en otras áreas.

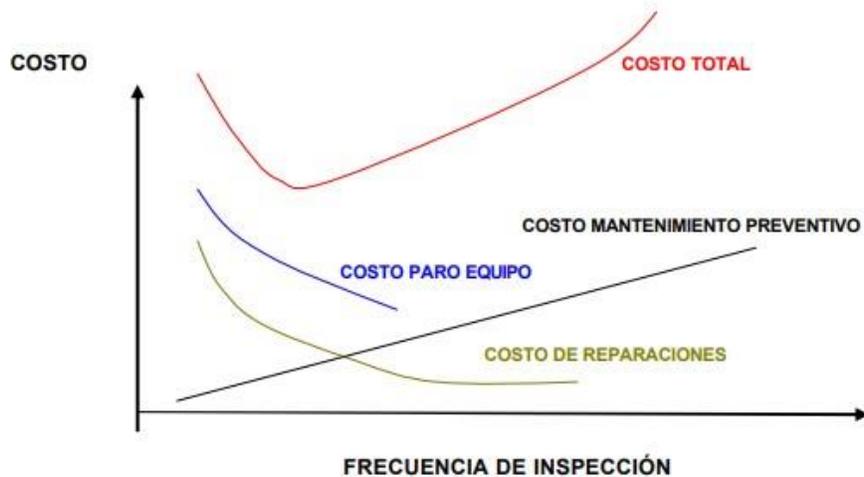


Figura 3. Relación Costo-Frecuencia de Inspección [7].

La figura 3, muestra una gráfica con la que podemos asociar la relación que existe entre el costo y la frecuencia de inspección de los equipos biomédicos. Se observa entonces cómo el costo por paro del equipo y reparaciones disminuyen a medida que aumenta la frecuencia de inspección, por tanto, encontrar ese punto medio u óptimo tendría la mejor relación de frecuencia respecto al costo.

Por otra parte, para esta investigación, se tuvieron en cuenta cinco equipos biomédicos de una empresa que se dedica al mantenimiento de estos, los equipos son: Ventilador Mecánico, Cama de Hospitalización, Central de Monitoreo, Electrocardiógrafo y Monitor de signos vitales.

### Ventilador mecánico

El ventilador mecánico es un equipo biomédico de clase IIB el cual cumple la función de llevar oxígeno a los pulmones y al organismo de un paciente, facilitar la respiración o suplir al 100% la respiración de un paciente que necesita de este tratamiento de soporte vital. El ventilador es conectado al paciente mediante un tubo endotraqueal colocado dentro de la boca o nariz y la tráquea. Posterior a la intubación, el ventilador suministra gas (aire más oxígeno) hacia los pulmones del paciente. Es importante mencionar que este aire va con una presión específica para mantener los pulmones abiertos para que no se presente un colapso en los alveolos [8].



Figura 4. Ilustración Ventilador Mecánico [8].

## Cama de hospitalización

Las camas de hospitalización son un equipo biomédico de clase I, el cual cumple la función de acoger al paciente para la recuperación de este. Este tipo de equipo requiere por lo general mantenimientos mecánicos. También existen camas electrónicas que permiten ajustar la posición del paciente [9].



Figura 5. Mobiliario de la cama hospitalaria de un paciente [9].

## Central de monitoreo

Estos equipos permiten visualizar intuitivamente y monitorear parámetros fisiológicos vitales, que generan alarmas cuando se presentan variación de estos parámetros las cuales pueden resultar en un peligro inmediato y potencial para el paciente. Por tal motivo, este dispositivo es de clase IIB. Adicional a esto, estas centrales de monitoreo permiten monitorear varios pacientes al mismo tiempo.



Figura 6. Central de monitoreo [10].

## Electrocardiógrafo

Los electrocardiógrafos son equipos de clase IIA, ya que son equipos de diagnóstico directo y monitoreo de procesos llevados a cabo por el corazón. Con este dispositivo se mide la actividad eléctrica del corazón mediante unos electrodos conectados sobre la piel, donde se registran cambios de potencial de un campo eléctrico debido a la actividad eléctrica ya

mencionada [11].

## BeneHeart R3

Electrocardiógrafo



Figura 7. Electrocardiógrafo Mindray [11].

### Monitor de signos vitales

Al igual que la central de monitoreo, los monitores de signos vitales miden y monitorean parámetros fisiológicos tales como la frecuencia cardiaca, presión arterial, temperatura, saturación, entre otros. Mediante su pantalla se muestran las ondas, valores y demás signos vitales que se están monitoreando. Por tanto, la clase del equipo es IIB [12].

En resumidas cuentas, la mayoría de los equipos biomédicos expuestos anteriormente, son dispositivos de clase II, por lo que, según INVIMA, son dispositivos de riesgo alto, sujetos a controles especiales en el diseño, fase fabricación para poder demostrar su seguridad y efectividad al tratar y/o monitorear al paciente [12]. Esto implica una mayor rigurosidad al realizar los mantenimientos a los equipos.

Ahora bien, respecto a la identificación de las frecuencias óptimas para realizar los mantenimientos, se deben utilizar herramientas estadísticas que permitan identificar las variables que se requieren. Un ejemplo es el de Monte Carlo (utilizado en esta investigación). Este método estadístico es una técnica matemática que se utiliza para estimar los posibles resultados de un suceso incierto, útil para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre. La simulación de Monte Carlo predice un conjunto de resultados a partir de un rango estimado de valores, teniendo en cuenta valores de entrada fijos. Posteriormente, se calcula de nuevo mediante un conjunto diferente de números aleatorios entre los valores mínimo y máximo [13].

Teniendo claro el método estadístico que se va a implementar, es importante identificar las variables que se tendrán en cuenta en el método a utilizar, además de conocer el resultado que se obtendrá. Inicialmente, el estudio está enmarcado en la política de mantenimiento basada en realización de preventivo periódico. Esta política establece que existe un intervalo de mantenimiento (en unidades de tiempo) el cual especifica el tiempo máximo

que debe pasar para que el equipo sea intervenido antes de fallar. Por otro lado, este valor de intervalo está directamente relacionado con la disponibilidad de un equipo médico, es decir, la disponibilidad hace referencia a el mayor tiempo de uso que puede tener un equipo antes de que este falle. Siendo así, un valor de 1 la disponibilidad máxima que se puede estimar y 0 la disponibilidad mínima. Consecuentemente, las variables que permiten identificar la disponibilidad son: la frecuencia de fallas del equipo, el tiempo medio de mantenimiento correctivo (MCMT), tiempo medio de verificación después de realizar el mantenimiento correctivo (MCVT), frecuencia de mantenimiento preventivo, tiempo medio de mantenimiento preventivo (MPMT) y finalmente, el tiempo medio de verificación después de realizar un mantenimiento [4].

Finalmente, la investigación que se quiere realizar por parte de la Universidad del Rosario en conjunto con Novatecnica es colaborar en una iniciativa de análisis exploratorio de los datos de esta empresa para predecir la frecuencia óptima del mantenimiento de sus equipos. La propuesta se basa en identificar, adecuar, estructurar y analizar los datos reales de mantenimiento de 5 familias de equipos biomédicos de la empresa en Bogotá que se dedica al mantenimiento de equipos médicos. La adecuación de estos datos permitirá trabajar con algoritmos de métodos estocásticos como el de Monte Carlo, con el cual se podrá predecir los intervalos de tiempo óptimos para los mantenimientos preventivos de los equipos de la empresa. Esta investigación ayudaría a la empresa y a otras instituciones a optimizar la gestión y aumentar la disponibilidad del equipamiento biomédico. Además, permitirá generar indicadores de decisión que permitirán tomar las decisiones pertinentes frente a los mantenimientos de los distintos equipos médicos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Recolectar, analizar y estructurar los datos de mantenimiento de diferentes familias de equipos biomédicos de una empresa de gestión de tecnología en salud en Bogotá.

### **2.2. Específicos**

1. Obtener la información relevante de mantenimientos de la empresa a partir del sistema de información y de formatos Excel.
2. Analizar la información recolectada para obtener la media y desviaciones estándar de todas las actividades que afectan la disponibilidad de los equipos biomédicos.

### 3. METODOLOGÍA

La presente sección se elaboró con el fin de describir las generalidades metodológicas para poder cumplir los objetivos planteados en la sección anterior. En esta metodología se plantean todos los pasos que se realizaron a lo largo del semestre.

- **Procedimiento seguido para la recolección de información**

La información se recolectará mediante un contacto de la empresa en cuestión. Esta información está organizada en archivos Excel de 44 columnas y 5001 filas, donde se presenta información como nombre del equipo, tarea, estado de la tarea tipo de activo, actividad realizada, tiempo de ejecución, fecha de creación de la orden de trabajo (OT), fecha de finalización de la OT, prioridad, Recurso Humano, entre otras.

En este caso, la información se organizó de tal manera que tuviéramos a la mano los datos reales del tiempo de ejecución de cada tipo de mantenimiento, el número total de equipos médicos que tiene la empresa, el total de las OT's, el rango de datos que se determina a partir de la primera fecha de creación de la OT para cada equipo y su última fecha de finalización de la OT del mismo equipo (este valor es un rango en años). Por otro lado, se determinó el promedio de fallas a partir de los mantenimientos correctivos. Finalmente se organizó la cantidad de OT's de un equipo en OT's de mantenimiento preventivo y correctivo. Con esta información organizada se procede a calcular los datos que el método estadístico necesita.

- **Análisis de la información recolectada**

En esta parte, se obtienen las medias y desviaciones estándar de: la frecuencia de falla/mantenimiento, el tiempo medio de ejecución de los mantenimientos preventivos (MPMT) y correctivos (MCMT), las cuales son variables que afectan la disponibilidad de los equipos. Este análisis se hará con Excel y tablas dinámicas. Una vez analizada la información, se estructurará de manera que se pueda obtener cualquier dato en términos de equipos individuales, familia de equipos y tipo de falla/evento.

Básicamente, el proceso para determinar estos datos que necesita Montecarlo para estimar las frecuencias óptimas es:

- Se determina la frecuencia de falla y de mantenimiento preventivo en el rango de datos mencionado anteriormente (primera fecha de creación OT's hasta la última). Se calcula para la familia de equipos y se ajusta el cálculo para tener esta frecuencia por cada equipo.
- Luego, el cálculo anterior se modifica para que, si el rango es mayor o menor que un año, se divide entre el valor del rango en años con el fin de determinar la frecuencia de falla y mantenimiento preventivo en un año. Igualmente, se calcula para la familia de equipos y para cada equipo.
- Posteriormente, se calcula la frecuencia de mantenimiento preventivo y fallas por mes dividiendo entre 12 los datos obtenidos en la viñeta anterior. Este cálculo también se realiza para la familia y para cada equipo.
- Finalmente, obtenemos los datos de MCMT y MPMT los cuales son el inverso de los datos obtenidos en la viñeta anterior.

Finalmente, los datos mencionados anteriormente, los cuales son los insumos que el algoritmo necesita, podrán introducirse en el algoritmo de Monte Carlo para predecir las frecuencias óptimas de mantenimiento por familia de equipos.

- **Fases de la investigación**

Esta investigación se compone de cuatro fases principales. Inicialmente está la recolección, organización y depuración de los datos. Posteriormente el análisis y estructuración de estos. Luego las pruebas en Monte Carlo. Finalmente, la entrega del documento final.

Actividades	Enero		Febrero				Marzo				Abril				Mayo	
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
Recolección de la información	■	■	■													
Organización y depuración de las bases de datos			■	■	■	■	■	■								
Análisis y estructuración de la información									■	■	■					
Prueba piloto con algoritmos Monte Carlo												■	■	■		
Reuniones (con entregables)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Entregable final																■

Figura 8. Cronograma de actividades.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos respecto a las medias y desviaciones estándar de: la frecuencia de falla/mantenimiento, el tiempo medio de ejecución de los mantenimientos preventivos y correctivos. Es importante mencionar que se escogieron los equipos biomédicos mencionados en la introducción, ya que eran los equipos que más órdenes de trabajo tenían, es decir, había más información para analizar. Siendo este el criterio principal. Los datos fueron los siguientes:

Tabla I  
TABLA DE RESULTADOS

Equipo	Media Horas MC	Desviación MC	Media Horas MP	Desviación MC	Frecuencia de Falla (por equipo, por año)	Frecuencia de MP (por equipo, por año)
Ventilador Mecánico	18:01:42	132:33:57	2:11:12	1:46:44	2.42	2.23
Cama de Hospitalización	1:08:52	0:52:19	1:02:16	0:34:56	0.23	2.16
Central de Monitoreo	5:56:06	15:54:45	1:15:59	0:44:02	2.38	1.28
Electrocardiógrafo	2:36:26	8:00:21	1:14:17	0:35:42	0.71	1.66
Monitor de Signos Vitales	1:11:10	1:44:07	1:28:05	1:49:43	0.49	1.75

Tabla II  
TABLA DE EQUIPOS Y ÓRDENES DE TRABAJO

Equipos	# de Equipos	# de Ordenes de trabajo	# Ordenes MC	# Ordenes MP
Ventilador Mecánico	115	267	139	128
Cama de Hospitalización	308	324	31	293
Central de Monitoreo	89	143	93	50
Electrocardiógrafo	156	184	55	129
Monitor de Signos Vitales	782	879	192	687

Tabla III  
*TABLA DE FRECUENCIAS DE FALLA Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP) POR FAMILIA*

Equipos	Frecuencia Fallas (1yr)	Frecuencia de MP (1yr)	Frecuencia Fallas (Mes)	Frecuencia de MP (Mes)	MCMT	MPMT
Ventilador Mecánico	278.76	256.70	23.23	21.39	0.04	0.05
Cama de Hospitalización	70.28	664.25	5.86	55.35	0.17	0.02
Central de Monitoreo	212.16	114.06	17.68	9.51	0.06	0.11
Electrocardiógrafo	110.30	258.71	9.19	21.56	0.11	0.05
Monitor de Signos Vitales	382.95	1370.25	31.91	114.19	0.03	0,01

Tabla IV  
*TABLA DE FRECUENCIAS DE FALLA Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP) POR EQUIPO*

Equipos	Frecuencia Fallas (1yr)	Frecuencia de MP (1yr)	Frecuencia Fallas (Mes)	Frecuencia de MP (Mes)	MCMT	MPMT
Ventilador Mecánico	2.42	2.23	0.20	0.19	4.95	5.38
Cama de Hospitalización	0.23	2.16	0.02	0.18	52.59	5.56
Central de Monitoreo	2.38	1.28	0.20	0.11	5.03	9.36
Electrocardiógrafo	0.71	1.66	0.06	0.14	16.97	7.24
Monitor de Signos Vitales	0.49	1.75	0.04	0.15	24.50	6.85

A partir de la Tabla I podemos evidenciar varios indicadores relevantes de los datos que proporcionó la empresa y, con estos, es viable notar y sugerir diferentes soluciones que se mencionarán en el siguiente apartado.

Las tablas III y IV son datos que se pueden leer de la siguiente manera. Dando el ejemplo con el ventilador en ambas tablas, se puede leer el resto.

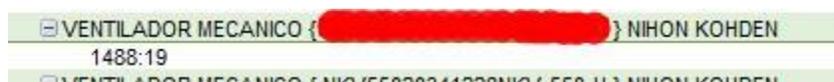
- 115 equipos (Tabla II) fallaron 278.76 (Tabla III) veces en un año. 115 equipos fallaron 23.23 veces en un mes. El tiempo medio entre fallas de los ventiladores mecánicos fue de 0.04 meses. Este análisis también se puede realizar con los datos de mantenimiento preventivo reemplazando la expresión de fallas por “mantenimiento preventivo”.

- 1 equipo falló 2.42 veces en un año. 1 equipo falló 0.20 veces en un mes. El tiempo medio entre fallos de un equipo fue de 4.95 meses. Este análisis también se puede realizar con los datos de mantenimiento preventivo reemplazando la expresión de fallas por “mantenimiento preventivo”.

Adicionalmente, se apoyará en los anexos para corroborar y visualizar los resultados más relevantes que se obtuvieron.

## 5. DISCUSIÓN

Inicialmente, respecto a los datos del ventilador mecánico (Anexo I, Tabla I) observamos que el promedio de horas para el mantenimiento correctivo (MC) son aproximadamente de 18 horas, un minutos y 42 segundos y, sorprendentemente, su desviación es de más de 132 horas. Estos datos indican que la dispersión de los datos es excesivamente grande. En cuestión del mantenimiento preventivo (MP), el promedio de horas es de 2 horas, 11 minutos y 12 segundos. Con una desviación estándar de 1 hora, 46 minutos y 44 segundos. Consecuentemente, 2 valores muy importantes que se deben tener en cuenta son la frecuencia de falla por equipo y la frecuencia de mantenimiento preventivo por mes, siendo 0.20 y 0.19 respectivamente. Este dato es muy concluyente respecto a que los equipos de ventilación mecánica están fallando más de lo que se están mandando a reparar, lo que indica una inconsistencia, ya que, si los mantenimientos preventivos se están realizando, la frecuencia de las fallas debería ser menor. Por otra parte, respecto a la desviación estándar del MC, podemos identificar que hay un fallo en el sistema de registro de las órdenes de trabajo porque no se está diligenciando en el momento que es la finalización del servicio. Es decir, si se asume que un mantenimiento cualquiera dura 2 horas, se espera que el valor que registre el encargado esté alrededor de este valor, pero en este caso hay valores registrados desde 10 minutos hasta más de 1448 horas de realización de la tarea. Es importante evaluar qué sucede al respecto.



*Figura 9. Tiempo de ejecución de un Ventilador mecánico.*

En este caso, las camas de hospitalización presentan resultados prometedores para analizarlos con el método de Monte Carlo y así determinar la disponibilidad óptima. Las medias y desviaciones de ambos mantenimientos son lo opuesto a las del ventilador. Con estos datos podemos concluir que este proceso de registro en la base de datos se realizó de manera correcta. La frecuencia de fallas y MP por mes de este equipo son 0.02 y 0.18. Esto indica que, inicialmente, las camas hospitalarias no necesitan de un mantenimiento continuo y, además, se evidencia cómo el realizar el mantenimiento preventivo (0.18 veces por mes) evita que los equipos fallen (0.02 veces por mes). Cabe mencionar que se correlaciona estos valores con que el equipo en cuestión es de clase I y que también se presentan más órdenes de trabajo para los MP que para los MC (Anexo II, Tabla II).

Las centrales de monitoreo presentan resultados similares respecto a los ventiladores mecánicos ya que la desviación estándar del MC es mucho mayor que la media, corroborando así que es muy alta la dispersión de estos datos. Igualmente, las frecuencias de fallas y MP por mes fueron 0.20 y 0.11 respectivamente, confirmando así que existe una irregularidad en los mantenimientos preventivos que se están haciendo, ya que las centrales están fallando más de lo que deberían. Esto también se evidencia en el número de órdenes de trabajo, siendo mayor el número de órdenes de MC (Anexo III, Tabla II).

Por parte de los electrocardiogramas, encontramos que sigue habiendo un problema con la desviación estándar de las horas de MC, pero en este caso la inconsistencia solo se presenta en el registro del tiempo de ejecución de estos mantenimientos porque la frecuencia de fallas y MP por mes tienen valores de 0.06 y 0.14 respectivamente. Esto implica que, como se ha mencionado anteriormente, el MP está funcionando porque el

equipo falla 0.06 veces por mes, siendo este un valor muy bajo. Las ordenes de MP fueron 129 de 184 órdenes totales de mantenimiento (Anexo IV, Tabla II).

Por último, el monitor de signos vitales fue un punto intermedio, ya que las desviaciones del tiempo de ejecución del MC y MP no son tan grandes como en los anteriores casos. Sigue existiendo un problema en el registro de los tiempos de ejecución y en la ejecución misma ya que la desviación debería estar por lo menos menor a la media. Las frecuencias de fallo y MP por mes tienen un valor de 0.04 y 0.15 respectivamente. Igualmente, como se mencionó en las anteriores discusiones, esto implica que los mantenimientos preventivos que se realizan están funcionando ya que los monitores están fallando a una frecuencia 0.04 veces por mes. Ordenes de trabajo MP 687 de 879 totales (Anexo V, Tabla II).

Es importante mencionar que pueden existir muchos factores que influyen en los datos obtenidos. Como se mencionó, puede tratarse de un mal registro en la base de datos de los tiempos de ejecución o, en un caso quizás extremo, no se están realizando de manera correcta los mantenimientos respectivos. Por otro lado, el hecho de que la frecuencia de fallas sea mayor que la de MP, indica un problema en la realización del MP ya que no está funcionando y esto incurre en más fallos de los que se esperaría. Adicionalmente, asociando esto con la gestión hospitalaria, el hecho de que los equipos estén fallando más de los MP, es un claro indicador de que se está gastando más dinero en el MC porque son mantenimientos en los que por lo general se necesitan repuestos que son más costosos, mientras que los MP únicamente se gasta en el salario del encargado del mantenimiento. Por tanto, este tipo de investigación no solo permite responder la pregunta *¿Cuál es la frecuencia óptima de los mantenimientos preventivos para que exista una mayor disponibilidad del equipo médico?*, sino que se pueden identificar estos parámetros que describen el funcionamiento del trabajo que está realizando una empresa. Con estos indicadores es que se puede tomar decisiones para mejorarlos.

## **6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Este trabajo puede llegar a implementarse en empresas que desarrollen actividades para el mantenimiento de equipos médicos, ajustando particularmente a cada empresa este análisis.

Respecto a las bases de datos, puede llevarse a cabo una implementación mediante programación informática con el fin de automatizar el proceso de elaborar los cálculos respectivos.

Finalmente, puede elaborarse un protocolo para el registro de información en la base de datos con el fin de implementarlo para una mejor gestión de la información.

## 7. CONCLUSIONES

- 1- Se obtuvo la información más relevante de los mantenimientos de las 5 familias de equipos médicos de la empresa y, con esta información, se logró ajustar, en formatos de Excel, toda la información recolectada mediante tablas dinámicas y colores característicos para una fácil lectura de esta información. Adicional a esto, se realizaron anotaciones con el fin de tener una trazabilidad de los ajustes y cambios realizados en los formatos.
- 2- A partir de los formatos elaborados, se logró recolectar y analizar las medias de los MC y MP con sus desviaciones respectivas y también se logró identificar variables como la frecuencia de fallas y de MP que afectan de manera directa la disponibilidad de los equipos biomédicos. Con estas variables e indicadores, es posible realizar informes de gestión donde se desglose la información de lo que está sucediendo en las prácticas, en este caso de mantenimiento, en la empresa y así tener argumentos para tomar decisiones para mejorar estos aspectos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. G. Glave, "Ingeniería biomédica". Revista 24, mayo 2010.
- [2] M. Cruz, "LINEA DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERIA CLÍNICA Y LOGÍSTICA HOSPITALARIA". Available: <https://editorial.urosario.edu.co/catalog/product/view/id/6218/s/gpd-gestion-tecnologica-hospitalaria-un-enfoque-sistemico-9789587380941/category/119/>
- [3] "Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos", Accessed: Apr 07, 2022. [Online]. Available: [www.who.int](http://www.who.int)
- [4] A.M. Cruz, W.R. Rodríguez, "Optimización de frecuencias de mantenimiento usando la simulación por Montecarlo". Accessed on: Apr. 12, 2022.
- [5] P. Restrepo, I. Gonzáles, D. Cardenas, G. Burgos, and W. Melo, "Estructura del gasto en Salud Pública en Colombia," 2018.
- [6] J. Chiquiza, "El gasto en salud de Colombia es 7,2% del PIB, según informe de la Ocede," Jul. 06, 2019. <https://www.larepublica.co/globoeconomia/el-gasto-en-salud-de-colombia-es-72-del-pib-segun-informe-de-la-ocde-2881922> (accessed Apr. 16, 2022).
- [7] "Modelo de Evaluación y Gestión. Equipamiento Biomédico. Tecnología Biomédica." [http://www.nuevalegislacion.com/files/susc/cdj/doct/lb\\_ebm\\_cap6\\_3.pdf](http://www.nuevalegislacion.com/files/susc/cdj/doct/lb_ebm_cap6_3.pdf) (accessed Apr. 17, 2022).
- [8] American Thoracic Society, "Ventilador Mecánica". Am J Respir Crit Care Med Vol. 172, P1, 2005. Versión en línea revisada en septiembre de 2013 Serie de información al paciente de la ATS ©2005 American Thoracic Society. (accessed Apr. 17, 2022).
- [9] "La unidad del paciente. Cama hospitalaria". <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448177002.pdf> (accessed Apr 18, 2022).
- [10] "BeneVision™ Sistema de Monitoreo Central". <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448177002.pdf>. (accessed Apr 18, 2022).
- [11] "Clases y características de los electrocardiógrafos | Promedco." <https://www.promedco.com/noticias/tipos-de-electrocardiografos-y-sus-caracteristicas> (accessed Apr 18, 2022).
- [12] "ABC de dispositivos médicos". <https://invima2018.files.wordpress.com/2018/03/dispositivos-medicos-invima.pdf>. (accessed Apr 18, 2022).
- [13] "¿Qué es la simulación Montecarlo? - España | IBM." <https://www.ibm.com/es-es/cloud/learn/monte-carlo-simulation?msclkid=076d9295cf2311ecadee8350e76984ee> (accessed Apr 20, 2022).

## ANEXOS

### Anexo 1. Datos Ventilador Mecánico

<b>TOTAL HORAS MC</b> 2469:53:00	<b>TOTAL HORAS MP</b> 207:44:00
<b>PROMEDIO HORAS MC</b> 18:01:42	<b>PROMEDIO HORAS MP</b> 2:11:12
<b>SD MC</b> 132:33:57	<b>SD MP</b> 1:46:44

<b>Total de Ventiladores Mecánicos</b>	115
<b>Total OT's</b>	267
Inicio Datos	2020-12-15 15:27
Fin Datos	2021-06-15 14:26
Rango Datos	0 años, 6 meses, y 0 días
Rango Días	182
<b>RANGO EN AÑOS</b>	0,498630137

<b>OT'S MC (Total de fallas)</b>	139	<b>PROMEDIO DE FALLAS (0,5 yr)</b>	2,67
<b>OT'S MP</b>	128	<b>PROMEDIO DE FALLAS (1 yr)</b>	5,36
		<b>SD</b>	1,67

FREC DE FALLA (0,5 yr)		FREC DE FALLA (1 yr)		FREC DE FALLA (mes)		MTTF(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
139	1,21	278,76	2,42	23,23	0,20	0,04	4,95

FREC DE MP (0,5 yr)		FREC DE MP (1 yr)		FREC DE MP (mes)		MTPM(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
128	1,11	256,70	2,23	21,39	0,19	0,05	5,38

### Anexo 2. Datos Camas de Hospitalización

<b>TOTAL HORAS MC</b> 35:35:00	<b>TOTAL HORAS MP</b> 304:04:00
<b>PROMEDIO HORAS MC</b> 1:08:52	<b>PROMEDIO HORAS MP</b> 1:02:16
<b>SD MC</b> 0:52:19	<b>SD MP</b> 0:34:56

<b>Total de camas de hospitalización</b>	308
<b>Total OT's</b>	324
Inicio Datos	2020-12-23 10:04
Fin Datos	2021-06-02 17:20
Rango Datos	0 años, 5 meses, y 7 días
Rango Días	161
<b>RANGO EN AÑOS</b>	0,44109589

<b>OT'S MC (Total de fallas)</b>	31	<b>PROMEDIO DE FALLAS (0,5 yr)</b>	1,63
<b>OT'S MP</b>	293	<b>PROMEDIO DE FALLAS (1 yr)</b>	3,70
		<b>SD</b>	0,68

FREC DE FALLA (0,5 yr)		FREC DE FALLA (1 yr)		FREC DE FALLA (mes)		MTTF(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
31	0,10	70,28	0,23	5,86	0,02	0,17	52,59

FREC DE MP (0,5 yr)		FREC DE MP (1 yr)		FREC DE MP (mes)		MTPM(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
293	0,95	664,25	2,16	55,35	0,18	0,02	5,56

### Anexo 3. Datos Centrales de Monitoreo

<b>TOTAL HORAS MC</b>	<b>TOTAL HORAS MP</b>
551:57:00	63:19:00
<b>PROMEDIO HORAS MC</b>	<b>PROMEDIO HORAS MP</b>
5:56:06	1:15:59
<b>SD MC</b>	<b>SD MP</b>
15:54:45	0:44:02

<b>Total de centrales de monitoreo</b>	89
<b>Total OT's</b>	143
Inicio Datos	2020-12-15 10:39
Fin Datos	2021-05-24 10:17
Rango Datos	0 años, 5 meses, y 9 días
Rango Días	160
<b>RANGO EN AÑOS</b>	0,438356164

<b>OT'S MC (Total de fallas)</b>	93	<b>PROMEDIO DE FALLAS (0,5 yr)</b>	2,16
<b>OT'S MP</b>	50	<b>PROMEDIO DE FALLAS (1 yr)</b>	4,93
		<b>SD</b>	1,57

FREC DE FALLA (0,5 yr)		FREC DE FALLA (1 yr)		FREC DE FALLA (mes)		MTTF(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
93	1,04	212,16	2,38	17,68	0,20	0,06	5,03

FREC DE MP (0,5 yr)		FREC DE MP (1 yr)		FREC DE MP (mes)		MTPM(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
50	0,56	114,06	1,28	9,51	0,11	0,11	9,36

### Anexo 4. Datos Electrocardiógrafos

<b>TOTAL HORAS MC</b>	<b>TOTAL HORAS MP</b>
143:24:00	159:43:00
<b>PROMEDIO HORAS MC</b>	<b>PROMEDIO HORAS MP</b>
2:36:26	1:14:17
<b>SD MC</b>	<b>SD MP</b>
8:00:21	0:35:42

<b>Total de electrocardiógrafos</b>	156
<b>Total OT's</b>	184
Inicio Datos	2020-12-15 12:16
Fin Datos	2021-06-15 15:22
Rango Datos	0 años, 6 meses, y 0 días
Rango Días	182
<b>RANGO EN AÑOS</b>	0,498630137

<b>OT'S MC (Total de fallas)</b>	55	<b>PROMEDIO DE FALLAS (0,5 yr)</b>	1,49
<b>OT'S MP</b>	129	<b>PROMEDIO DE FALLAS (1 yr)</b>	2,98
		<b>SD</b>	0,69

FREC DE FALLA (0,5 yr)		FREC DE FALLA (1 yr)		FREC DE FALLA (mes)		MTTF(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
55	0,35	110,30	0,71	9,19	0,06	0,11	16,97

FREC DE MP (0,5 yr)		FREC DE MP (1 yr)		FREC DE MP (mes)		MTPM(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
129	0,83	258,71	1,66	21,56	0,14	0,05	7,24

## Anexo 5. Datos Monitor de Signos Vitales

<b>TOTAL HORAS MC</b> 227:45:00	<b>TOTAL HORAS MP</b> 1008:34:00
<b>PROMEDIO HORAS MC</b> 1:11:10	<b>PROMEDIO HORAS MP</b> 1:28:05
<b>SD MC</b> 1:44:07	<b>SD MP</b> 1:49:43

Total de Monitores de signos vitales 782  
Total OT's 879

Inicio Datos 2020-12-15 09:34  
Fin Datos 2021-06-16 10:55

Rango Datos 0 años, 6 meses, y 1 días  
Rango Días 183

RANGO EN AÑOS 0,501369863

OT'S MC (Total de fallas) 192 PROMEDIO DE FALLAS (0,5 yr) 1,47  
OT'S MP 687 PROMEDIO DE FALLAS (1 yr) 2,92  
SD 0,75

FREC DE FALLA (0,5 yr)		FREC DE FALLA (1 yr)		FREC DE FALLA (mes)		MTTF(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
192	0,25	382,95	0,49	31,91	0,04	0,03	24,50

FREC DE MP (0,5 yr)		FREC DE MP (1 yr)		FREC DE MP (mes)		MTPM(mes)	
FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO	FAMILIA	EQUIPO
687	0,88	1370,25	1,75	114,19	0,15	0,01	6,85