

Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Criticidad de los Equipos Biomédicos de la Clínica Sánchez Ferrer, Para Aumentar su Confiabilidad.

Preventive Maintenance Plan Based on the Criticality of Biomedical Teams Sánchez Ferrer Clinic, to increase the Reliability.

Jerry Raúl Zegarra Tanchiva¹

¹ Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica- Eléctrica, Universidad Cesar Vallejo-Trujillojerry.zetan@gmail.com, tunchi@ucvvirtual.edu.pe

Resumen

La presente investigación, estuvo basado en el mantenimiento de equipos biomédicos, de la clínica Sánchez Ferrer –Trujillo, con una muestra total de 173 equipos, agrupados en 52 equipos biomédicos. El objetivo de esta investigación fue aumentar la confiabilidad de los equipos mediante la evaluación de un análisis de criticidad. Fueron evaluadas las condiciones actuales de los indicadores de gestión de mantenimiento, como; la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, obteniendo: 85.05%, 94.03% y 19.15% respectivamente. Se obtuvo 19 equipos biomédicos con bajos indicadores de mantenimiento. El análisis de criticidad realizado a los 52 equipos biomédicos, dio como resultado 20 equipos críticos, 6 equipos semi críticos y 26 equipos no críticos. Esta evaluación se realizó mediante la ponderación de 6 criterios: frecuencia de fallas, impacto en la producción, impacto en el mantenimiento, impacto en el personal de mantenimiento, impacto en los pacientes e impacto ambiental. Se realizó, un plan de mantenimiento preventivo para cada equipo biomédico crítico, obteniendo un aumento en los indicadores de mantenimiento: Confiabilidad de 90.52%, disponibilidad de 97.98% y mantenibilidad de 33.07%.

Descriptor: *Equipos biomédicos, confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, análisis de criticidad.*

Abstract

This investigation, was based on the maintenance of biomedical equipment, of the clinical Sánchez Ferrer - Trujillo, with a total sample of 173 teams, grouped in 52 biomedical equipment. The aim of this investigation was to increase the reliability by evaluating a criticality analysis. They were evaluated current conditions of maintenance management indicators such a reliability, availability and maintainability, obtaining: 85.05%, 94.03% and 19.15% respectively. It was obtaining a total of 19 biomedical equipment with low maintenance indicators. The criticality analysis was conducted at 52 biomedical equipment, getting 20 critical equipment, 6 semi-critical teams and 26 not critical teams. This evaluation was performed by weighting 6 criteria: frequency of failures, impact on production, maintenance impact, impact on the maintenance staff, impact on patients and environmental impact. It was made a preventive maintenance plan for each critical biomedical equipment, obtaining an increase in maintenance indicators: 90.52% of reliability, 97.98% of availability and 33.07% of maintainability.

Keywords: *Biomedical equipment, reliability, availability, maintainability, criticality analysis.*

1. Introducción

En la presente investigación, se elaboró y proyectó un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis de criticidad para los equipos biomédicos, de la clínica Sánchez Ferrer –Trujillo, se evaluaron las condiciones actuales de los indicadores de gestión de mantenimiento, como; la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, obteniendo: 85.05%, 94.03% y 19.15% respectivamente. Se logró determinar que un total de 19 equipos biomédicos presentan bajos indicadores de mantenimiento, y de esta manera se jerarquizó 173 equipos, agrupados en 52 equipos biomédicos en tres niveles: críticos, semi críticos y no críticos.

Del análisis de criticidad realizado a los 52 equipos biomédicos, se obtuvo: 20 equipos críticos, 6 equipos semi críticos y 26 equipos no críticos. Esta evaluación se realizó mediante la ponderación de 6 criterios: frecuencia de fallas, impacto en la producción, impacto en el mantenimiento, impacto en el personal de mantenimiento, impacto en los pacientes e impacto ambiental.

Se realizó, un plan de mantenimiento preventivo para cada equipo biomédico crítico, estimando un aumento en los indicadores de mantenimiento; confiabilidad 90.52%, disponibilidad 97.98% y mantenibilidad 33.07%. Obteniendo valores aceptables para la clínica Sánchez Ferrer.

2. Teorías relacionadas al tema

2.1 Definición de Mantenimiento:

Es el conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación, para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorable, asegurando que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. Es aquél que permite alcanzar una reducción de los costos totales y mejorar la efectividad de los equipos y sistemas [1].

2.1.1 Mantenimiento Correctivo:

El mantenimiento correctivo, también conocido como reactivo, es aquel que se aplica cuando se produce algún error en el sistema, ya sea porque algo se averió o rompió [2].

Cuando se realizan estos mantenimientos, el proceso productivo se detiene, por lo que disminuyen las cantidades de horas productivas. Estos mantenimientos no se aplican si no existe ninguna falla. Es impredecible en cuanto a sus gastos y al tiempo que tomará realizarlo [2].

Sus características son [1]:

- Está basado en la intervención rápida, después de ocurrida la avería.
- Conlleva a la discontinuidad en los flujos de producción y logísticos.
- Tiene una gran incidencia en los costos de mantenimiento por producción no efectuada.

Tabla 1. Matriz de Criticidad.

Categoría de frecuencias	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
	Categoría de consecuencias	1	2	3	4	5

En la Matriz de Criticidad se identifican con letras los niveles de criticidad:

- B** Criticidad Baja color verde
- M** Criticidad Media color amarillo
- A** Criticidad Alta color rojo

Fuente: Améndola [3].

2.1.2 Mantenimiento Preventivo:

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de minimizar el mantenimiento correctivo. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. El mantenimiento preventivo es una estrategia en la cual se programan periódicamente las intervenciones en los equipos, con el objeto principal de inspeccionar, reparar, conservar y/o reemplazar componentes. Las intervenciones se realizan aun cuando la máquina esté operando satisfactoriamente [1].

2.1.3 Mantenimiento Predictivo:

Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad.

Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento es más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados. Una de sus grandes ventajas es que se lleva a cabo mientras la máquina está funcionando y solo se programa su detención

cuando se detecta un problema y se desea corregir, [1].

2.2 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad.

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos). Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla [3].

En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

Para determinar la criticidad cuantitativamente, se multiplica la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación [3].

$$Cr = I.F.F \times C \quad (1)$$

Dónde:

Cr: Valor crítico

F.F: Ponderación del impacto de frecuencia de fallas

C: Consecuencias o impactos.

Las consecuencias o impactos, se determina según la formulación:

$$C = I.P * I.M * I.P.M * I.PA * I.A \quad (2)$$

Dónde:

I.P: Ponderación del impacto en la producción respecto a las horas perdidas en los equipos biomédicos

I.M: Ponderación del impacto en el mantenimiento (Daños a las instalaciones o equipo)

I.P.M: Ponderación del impacto al personal de mantenimiento

I.PA: Ponderación del impacto a la población o pacientes

I.A: Ponderación del impacto ambiental

Para realizar en Análisis de Criticidad se deben seguir los siguientes pasos [3]:

La tabla 1, muestra los criterios para estimar la frecuencia.

2.2.1 Definir el nivel de análisis:

Se deberán definir los niveles en donde se efectuará el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con los requerimientos o necesidades de jerarquización de activo [3].

2.2.2 Definir la Criticidad:

La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos[3]:

2.2.2.3 Estimación de la frecuencia de la falla funcional:

Para cada equipo puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema. La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por año [3].

Tabla 01. Criterios para estimar la frecuencia

Categoría o frecuencia	Tiempo medio entre fallas TMEF, horas/falla	Interpretación
5	TMEF < 1	Es probable que ocurran varias fallas en una hora.
4	1 ≤ TMEF < 10	Es probable que ocurran varias fallas en 10 horas, pero es poco probable que ocurra en 1 hora.
3	10 ≤ TMEF < 100	Es probable que ocurran varias fallas en 100 horas, pero es poco probable que ocurra en 100 horas.
2	100 ≤ TMEF < 1000	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 horas, pero es poco probable que ocurra en 100 horas.
1	TMEF ≥ 1000	Es poco probable que ocurran en 1000 horas.

Fuente: Améndola [3].

Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplean los siguientes criterios y sus rasgos preestablecidos.

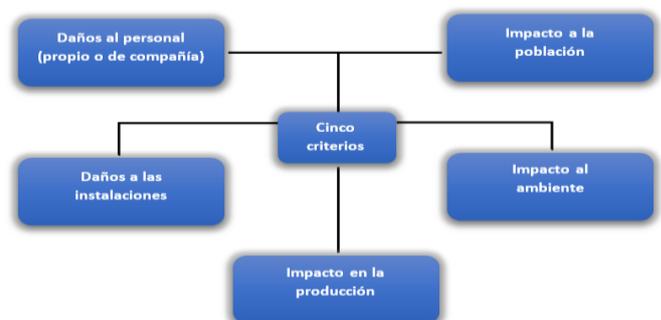


Figura 2: Consecuencias o impactos de la falla.
Fuente: Elaboración propia.

Los daños al personal de mantenimiento, impacto a la población o pacientes y al ambiente serán categorizados considerando los criterios que se indican en la tabla 2, perteneciente a la categoría de los Impactos.

Los Impactos en la Producción (IP) cuantifican las consecuencias que los eventos no deseados generan sobre el negocio. Para ellos se deben determinar los costos de producción respecto a las horas perdidas

$$C_p = (TPR \times C_{up}) \quad (3)$$

Donde:

C_p : Costos de producción de los equipos biomédicos (S. /año)

TPR: Tiempo para reparar de los equipos biomédicos (horas/año)

C_{up} : Costo unitario de producción por equipo biomédico (S. /hora)

El valor resultante permitirá categorizar el IP de acuerdo con los criterios de la tabla 2 Categoría de los Impactos.

Los impactos asociados a Daños de las instalaciones o costos de mantenimiento DI o CM, se evaluarán considerando los siguientes factores:

- Equipos afectados
- Costos de Reparación
- Costos de mano de obra

$$C_m = (C.r+ C.m.o)$$

Donde:

C_m : Costos de mantenimiento (S. /año)

$C.r$: Costos de repuestos (S. /año)

$C.m.o$: Costos en mano de obra (S. /año)

Tabla 2. Categoría de los impactos

Categoría	Impacto personal de mantenimiento (I.P.M)	Impacto en la población (pacientes) (I.P.A)	Impacto Ambiental (I.A)	Perdida de Producción con respecto a las horas perdidas (S./año) Impacto de producción (I.P)	Costos de mantenimiento (Daños a la Instalación o equipos) (S./año) Impacto de mantenimiento (I.M)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 000	Mayor de 50 000
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	De 15 000 a 50 000	De 15 000 a 50 000
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regulables sin violación de leyes y regulaciones, la restauración puede ser acumulada	De 5 000 a 15 000	De 5 000 a 15 000
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes regulaciones.	De 500 a 5 000	De 500 a 5 000
1	Sin Impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500	Hasta 500

Fuente: Améndola [3].

De la tabla 2 categorías de los impactos, el valor ubicado en la columna categoría se asignara a las consecuencias, y este se empleara para realizar el cálculo del nivel de criticidad. El impacto o consecuencia total de una falla se determina sumando los valores de las categorías correspondientes a cada columna o criterio multiplicado por el valor de la categoría obtenida de la tabla 1 que determina la frecuencia de ocurrencia de falla.

2.2.3 Tercer Paso-Calculo del nivel de criticidad:

Una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la Matriz de Criticidad diseñada para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.

FRECUENCIA	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	IMPACTO																					

Criticidad Alta	(A)	Color Rojo	$50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$
Criticidad Media	(B)	Color Amarillo	$30 \leq \text{Criticidad} \leq 49$
Criticidad Baja	(C)	Color Verde	$5 \leq \text{Criticidad} \leq 29$

Figura 3. Matriz de Criticidad diseñada

Fuente: Améndola [3].

2.2.4 Cuarto paso-Análisis y Validación de los resultados:

Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional [3].

2.2.5 Quinto paso-Definir el nivel de análisis:

El resultado obtenido de la frecuencia de ocurrencia por el impacto permite "jerarquizar" los problemas, componentes, equipos, sistemas o procesos, basado en la criticidad. El cuál es el objetivo de la aplicación de la metodología [3].

2.2.6 Sexto paso-Determinar la criticidad.

Si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las

acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar [3].

2.2.7 Séptimo paso-Sistema de Seguimiento de control:

Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer el seguimiento y control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes de los elementos de AC [3].

2.2.8 Octavo paso-Análisis y Validación de los resultados:

Se debe crear un expediente, con los registros y documentos resultantes de la aplicación de la aplicación de los Análisis de Criticidad realizados a las instalaciones, sistema, equipos y elementos [3].

2.3 Indicadores del mantenimiento:

Como los resultados son más difíciles de evaluar en el campo del mantenimiento que en la producción, será necesario utilizar los índices y de los múltiples índices usados en la gestión de mantenimiento se empleará sólo aquellos índices estándares que son calculados con la misma fórmula en todos los países, es decir, los denominados "Índices de Clase Mundial" [3].

2.3.1 Tiempos del mantenimiento:

2.3.1.1- Tiempo medio o promedio entre fallas TMEF:

Es la sumatoria de todos los tiempos entre fallas (TEF), entre el número total de fallas.

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF}{n} \quad (4)$$

Dónde:

- ✓ TMEF: Tiempo medio entre fallas (horas útiles/falla).
- ✓ TEF: Tiempo entre fallas (horas/año).
- ✓ n: número de fallas (fallas/año).

2.3.1.2 Tiempo medio para reparar TMPR:

Es la sumatoria de todos los tiempos para reparar (TPR) cada falla, entre el número de fallas.

$$TMPR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR}{n} \quad (5)$$

Dónde:

- ✓ TPR: Tiempo promedio para reparar (horas de reparación/falla).
- ✓ TPR: Tiempo para reparar (horas de reparación/año).

✓ n: número de fallas (fallas/año).

2.3.2 Disponibilidad:

En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir [4].

Matemáticamente la disponibilidad D(t), se puede definir [4]:

$$D(t) = \left(\frac{TMEF}{TMEF+TMPR} \right) * 100\% \quad (6)$$

Dónde:

- ✓ D(t): Disponibilidad(%).
- ✓ TMEF: Tiempo medio entre fallas (horas útiles/falla).
- ✓ TMPR: Tiempo medio para reparar (horas de reparación/falla).

2.3.3. Confiabilidad:

Probabilidad de que un equipo u/o máquina pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas [5].

La confiabilidad puede ser expresada a través de la expresión:

$$C(t) = \left(e^{-\frac{\lambda * t}{100 * N^{\circ} E}} \right) * 100\% \quad (7)$$

Dónde:

- ✓ C(t): Confiabilidad (%)
 - ✓ t: Tiempo total de estudio o programado (horas/año).
 - ✓ λ: Tasa de fallas $\left(\frac{\text{Fallas}}{\text{horas utiles}} \right)$.
 - ✓ N° E: Número de equipos en evaluación
- Y se expresa:

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \quad (8)$$

2.3.4. Mantenibilidad:

La probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es desarrollado en las condiciones y medios predefinidos. Así mismo puede definirse como la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea arreglado en un determinado tiempo [6].

La mantenibilidad puede ser expresada a través de la expresión:

$$M(t) = \left(1 - e^{-\frac{\mu * t}{100 * N^{\circ} E * m}} \right) * 100\% \quad (9)$$

Dónde:

- ✓ M(t): Mantenibilidad (%)

- ✓ t: Tiempo total de estudio o programado (horas/año).
- ✓ μ : Tasa de reparaciones $\left(\frac{\text{fallas}}{\text{horas de reparación}}\right)$.
- ✓ N°E: Número de equipos en evaluación
- ✓ m: número de meses en evaluación (mes)

Y se expresa:

$$\mu = \frac{1}{\text{TMPR}} \quad (10)$$

3. Método

3.1 Diseño de investigación Pre-experimental (Porque fue posible cambiar las variables actuales a variables mejoradas estimándolas a un determinado futuro, es decir se realizó el estudio antes de implementarlo)

3.2 Métodos de análisis de datos

Se obtuvieron datos de entrada como el número de equipos biomédicos, número de atenciones de los equipos, número de fallas o intervenciones, costo unitario promedio útil de producción, costos de repuestos, costos de mano de obra externa, tiempo programado total, tiempo promedio entre fallas, tiempo promedio para reparar, tasa de fallas y tasa de reparaciones.

Fue realizado una evaluación actual de los equipos, se determinó los indicadores de mantenimiento como son: disponibilidad, confiabilidad y la mantenibilidad en estado actual. Después, a través de un análisis de criticidad se determinó los equipos biomédicos críticos, semi crítico y no críticos.

Al haber elaborado un plan de mantenimiento preventivo a los equipos biomédicos, se determinaron los nuevos indicadores de mantenimiento los cuales reflejaron el aumento de la disponibilidad y la confiabilidad, logrando reducir el tiempo medio para reparar.

4. Resultados y discusión

4.1

4.1 Planteamiento de las condiciones actuales, respecto: N° E.B, N° Atenciones por E.B, TPR, n, TEF, TMEF, TMPR, λ , μ y t de los 52 equipos biomédicos de la Clínica Sánchez Ferrer.

Las condiciones actuales fueron evaluadas con una muestra de datos del historial de mantenimiento de los 173 equipos, agrupados en 52 equipos biomédicos en el periodo 2015 (01/01/2015 hasta 31/12/2015), indicadores de mantenimiento globales de los equipos biomédicos de la clínica Sánchez Ferrer

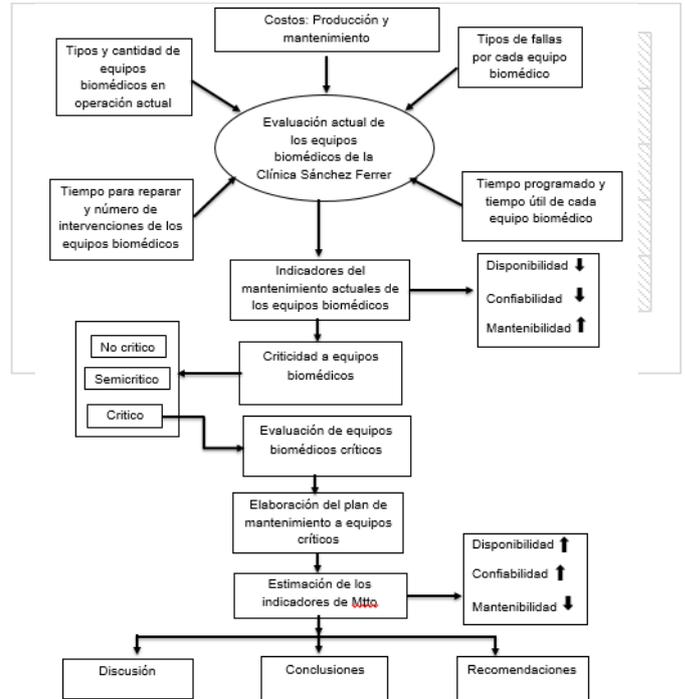


Figura 5: Indicadores actuales globales de los equipos Biomédicos.

Fuente: elaboración propia.

4.1.1 Equipos biomédicos críticos: Resultaron: 20 Equipos Biomédicos Críticos



Figura 6: Equipos Biomédicos Críticos de la Clínica Sánchez Ferrer.

Fuente: elaboración propia.

4.1.2 Equipos biomédicos semi críticos:

Resultaron: 6 Equipos Biomédicos semi críticos

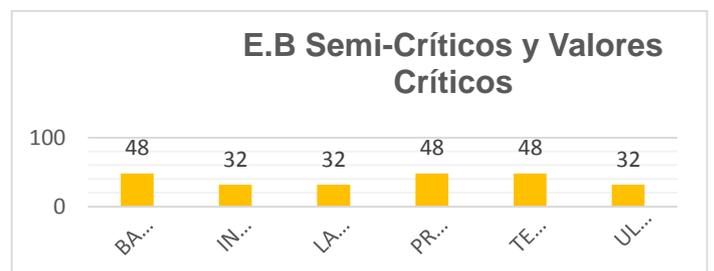


Figura 7: Equipos Biomédicos Semi-Críticos de la Clínica Sánchez Ferrer.
Fuente: elaboración propia.

4.1.3 Equipos biomédicos No Críticos:

Resultaron: 26 Equipos Biomédicos No Críticos



Figura 8: Equipos Biomédicos no críticos de la Clínica Sánchez Ferrer.
Fuente: elaboración propia.

Diagrama de flujo del proceso

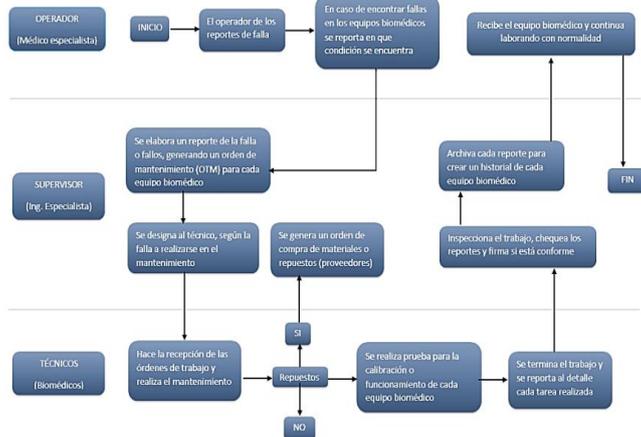


Figura 9: Diagrama de proceso de los E.B - Clínica Sánchez Ferrer.
Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta el algoritmo del proceso para estimar la proyección de los indicadores en mejora

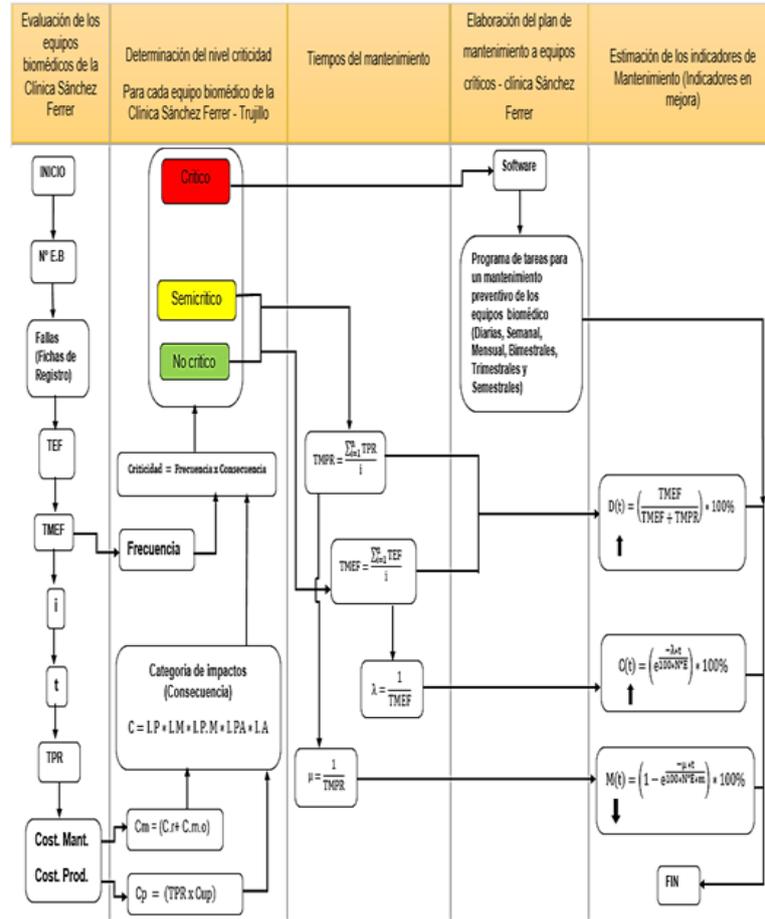


Figura10: Algoritmo del proceso de los E.B - Clínica Sánchez Ferrer
Fuente: elaboración propia

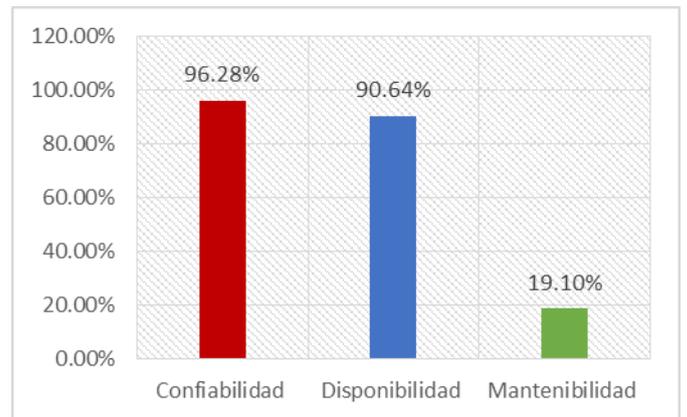


Figura 11: Indicadores de mantenimiento en estado de mejora.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 12, se muestra la comparación de los indicadores de mantenimiento en estado actual y de mejora

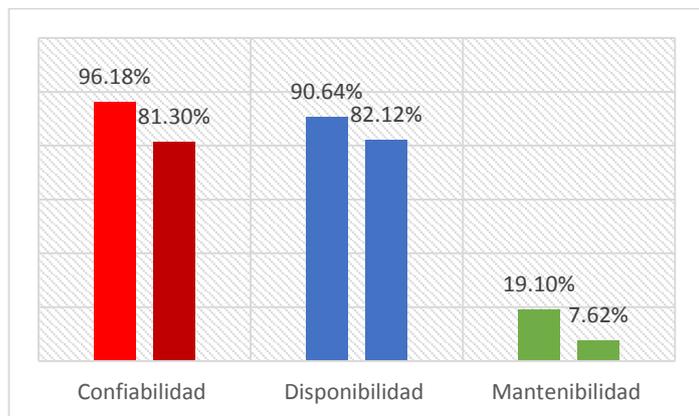


Figura 12: Indicadores de mantenimiento en estado de mejora y actual respectivamente.

Fuente: elaboración propia.

5. Discusión

En el estudio de Estrada y Cifuentes [7], fue utilizado un sistema de gestión de mantenimiento preventivo orientado a riesgos o criticidad, a fin de proporcionar un entorno seguro y funcional de los equipos más relevantes a través de un programa de mantenimiento, encontrando 32 equipos biomédicos críticos. En el presente trabajo fueron encontrados 20 equipos críticos, de los cuales 11 coinciden con el estudio de Estrada y Cifuentes, siendo estos: Aspirador, desfibrilador, ventilador mecánico, monitor de signos vitales, electrocardiógrafo, monitor de signos vitales, monitor para endoscopia, máquina de anestesia, electrocardiógrafo, pulsioxímetro y electrobisturí.

El estudio de Guevara y Padrón [8], implemento un programa de mantenimiento preventivo que garantizo minimizar las averías presentadas y alargar la vida útil de los equipos biomédicos.

Para lo que fue necesario el uso de manuales de los fabricantes existentes y entrevistas estructuradas a los diferentes técnicos de mantenimiento, programando dichas actividades de mantenimiento realizadas dentro de un plan preventivo. En comparación con el presente trabajo fue realizó el mismo procedimiento pero teniendo como instrumento de recolección de datos las fichas de reporte de estado de equipos biomédicos, logrando

así establecer un plan de mantenimiento preventivo para cada equipo crítico.

En el estudio de Miranda [9], se implementó un software para la planeación del mantenimiento preventivo de los equipos biomédicos, facilitando y mejorando los procesos de gestión de cada equipo médico dentro del área hospitalaria. El presente trabajo implemento de igualmente un software de actividades de mantenimiento a 20 equipos críticos en Excel, logrando generar órdenes de trabajo para cada equipo y contribuyendo a mejorar la atención de los pacientes.

5. Conclusiones

Se evaluó la situación actual del mantenimiento de los equipos biomédicos de la Clínica Sánchez Ferrer, existiendo hasta la actualidad un total de 173 equipos, agrupados en 52 equipos biomédicos, que fueron estudiados en el presente trabajo, con un total de 1347 horas perdidas por fallas no previstas, un tiempo útil neto de 21 225.40 horas, presentando 2634 intervenciones de mantenimiento, que llevó a tener un tiempo promedio entre fallas general de 8.058 horas útil/falla y un tiempo promedio para reparar de 0.511 horas de reparación/falla. Estas condiciones actuales generaron pérdidas económicas con respecto a la producción de los equipos biomédicos de 368 701.65 S/año, en repuestos 122 900.55 S/año y en mano de obra externa 9024.97 S. /año, obteniendo un gasto total de 500 627.17 S /año.

En la evaluación de los indicadores de mantenimiento como la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en estado actual, se obtuvo 19 equipos biomédicos con bajos indicadores de mantenimiento en un rango de confiabilidad (66.61% a 83.01%), disponibilidad (80.56% a 89.14%) y mantenibilidad (7.62% a 24.53%). Debido a tales condiciones, los indicadores globales de todos los equipos biomédicos resultaron: 96.28% de confiabilidad, 90.64% en disponibilidad y 19.10% en mantenibilidad. Cabe resaltar que los equipos biomédicos con bajos indicadores de mantenimiento (con bajos porcentajes de confiabilidad) son: el electroencefalógrafo, electromiógrafo, electrocardiógrafo, electrobisturí, desfibrilador, ecocardiógrafo, ecógrafo y torre laparoscopia.

Se analizaron los 52 equipos biomédicos mediante la evaluación de criticidad, esta metodología involucro 6 criterios o impactos tales como: impacto a la frecuencia de fallas, impacto en los costos de producción, impacto en los costos de mantenimiento,

impacto a la seguridad del personal de mantenimiento, impacto a la población o pacientes e impacto ambiental. Este procedimiento arrojó 20 equipos críticos, resultando con altos valores de criticidad los siguientes equipos biomédicos: desfibrilador, ventilador mecánico, electrocardiógrafo y servocuna infantil radiante.

Se elaboró un programa en Excel de actividades de mantenimiento preventivo para los 20 equipos biomédicos críticos, permitiendo de esta manera generar ordenes de mantenimiento de acuerdo a los tiempos de intervención, cuyo objetivo fue lograr sacar del estado crítico a estos 20 equipos biomédicos y de esta manera lograr aumentar los indicadores de mantenimiento.

Para estimar la proyección de los nuevos indicadores de mantenimiento, no se tomaron en cuenta los 20 equipos críticos, solo se consideraron los 6 equipos semi críticos y los 26 equipos críticos, logrando de esta manera:

- Aumentar la confiabilidad a 96.28%, con un incremento del 14.98%. Esto se debe a que el tiempo promedio entre fallas actualmente de 8.058 horas/falla pasó a aumentar a 13.283 horas/falla. Logrando un incremento del 5.225 horas/falla.

- Aumentar la disponibilidad a 90.64%, con un incremento de 8.52%. Esto se debe a que el tiempo para reparar actualmente de 1347.01 horas/año, se redujo a 839.57 horas/año. Logrando una reducción de 507.44 horas perdidas.

- Reducir en un pequeño intervalo de tiempo la mantenibilidad, debido a que el tiempo promedio para reparar actualmente es 0.511 horas /falla y en mejora 0.513 horas/falla. Esto se debe a que el porcentaje de mantenibilidad aumento de 7.62% a 19.10%.

6. Agradecimientos

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Jorge Salas Ruiz. Por su dirección en este trabajo de investigación. Su apoyo para guiar mis ideas en el desarrollo de esta investigación, y en la formación como Ingeniero Mecánico Eléctrico.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Ing. Jorge Inciso Vásquez. Por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta investigación. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado. A la UCV por su excelente plana Docente. Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Agradezco a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones. A mis queridos padres por forjarme con buenos principios, creer en mí y darme la oportunidad de realizarme en esta profesión.

7. Referencias Bibliográficas

- [1] Moubray MJ. RCM Reliability Centered Maintenance. United Kingdom: Aladon Ltd; 2004.
- [2] Lagunes M. Mantenimiento Mecánico a Actuadores Limitadores series Smb dentro de la Central Laguna Verde [Tesis]. Mexico: Universidad Nacional Autónoma De México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán; 2013.
- [3] Améndola L. Modelos mixtos de confiabilidad. 3a ed. Valencia. Instituto PMM para el aprendizaje; 2002.
- [4] Uparela L. Medición Estratégica CMD en el Sistema de Vapor de una Planta Química en el Departamento del Atlántico [Tesis de Maestría]. Medellín: Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica; 2013.
- [5] Jimenez M. La Disponibilidad y la Fiabilidad Herramientas del Mantenimiento [Tesis]. Mexico: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica; 2011.
- [6] Mesa DH, Ortiz Y, Pinzón M. La Confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*. 2006 ;(30): 155-160.
- [7] Cifuentes P, Estrada J. Gestión de mantenimiento de equipos médicos en la Fundación Clínica Infantil Club Nobel: Modulo de Ingeniería Biomédica [Tesis]. Cali: Universidad Autónoma De Occidente. Facultad de Ingeniería. Departamento de Automática y Electrónica. Programa de Ingeniería Biomédica; 2011.
- [8] Guevara F, Padrón G. Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para los equipos e instalaciones de Policlínica Amado C.A [Tesis]. Maracaibo: Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial; 2004.
- [9] Miranda, L. Sistema para la gestión del servicio de mantenimiento en el área biomédica hospitalaria [Tesis]. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería; 2014.

