

UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA



Facultad de Ingeniería Industrial y Gestión

**PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO, APLICANDO LA METODOLOGÍA DEL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)
PARA LOS EQUIPOS MÉDICOS CUSTODIADOS POR LA
EMPRESA CHEJAMPI BIOMEDICAL SAC**

Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Presentan los Bachilleres:

JOSÉ LUIS INGA CERRÓN

JUSTO CHOCCELAHUA TORRES

Presidente: Norman Estuardo Reyes Morales

Asesor de tesis: Luis Alberto Sampén Alquizar

Lector de tesis: Jaime Enrique Molina Vílchez

Lima, Perú

Octubre de 2019

GLORIA



DEI

VIVENS

DEDICATORIA

Este Proyecto lo dedicamos especialmente a nuestros padres (Aurelio Inga / Francisca Cerrón y Pedro Choccelahua / Francisca Torres) quienes son nuestra guía desde nuestra infancia, porque ellos hubieran deseado, de todo corazón, realizar lo que estamos realizando en este momento. Sabemos que, a través de nosotros, lo han logrado y se sienten complacidos con nuestro Avance.

Dedicamos este Proyecto a nuestras amadas esposas (Fiorela Perales y Celia Lozano), por su apoyo y ánimo que nos brindan día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

Por otro lado, dedicamos este proyecto a los grandes maestros que nos apoyaron, nos formaron y creyeron siempre en nuestra capacidad.

AGRADECIMIENTO.

Agradecemos infinitamente a nuestro asesor de Tesis el Ing. Luis Sampén Alquizar, a todos los profesores y empleados en general de la UARM que nos apoyaron de distintas maneras para poder culminar este Proyecto.

Agradecemos a nuestros familiares, amigos y colegas de trabajo que principalmente nos brindaron motivación y soporte para poder culminar este proyecto.

Agradecemos al Gerente de la Empresa Chejampi Biomedical SAC quien nos ha abierto la puerta de sus instalaciones para realizar levantamiento de información y nos ha brindado la base de datos del departamento de mantenimiento y la posibilidad de realizar este proyecto.



RESUMEN

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una metodología muy reconocida y de uso extendido en la elaboración de planes de mantenimiento de activos, basándose en asegurar las funciones del activo para la satisfacción del usuario o propietario. Actualmente existen varias metodologías para la implementación del RCM. En ese sentido buscamos implementar la metodología RCM como sistema de gestión de mantenimiento de un determinado centro Hospitalario que sólo cuenta con los métodos tradicionales de mantenimiento (reactivo y preventivo).

Las metodologías desarrolladas en esta investigación para la implementación del RCM son: Análisis de Criticidad (AC) para jerarquizar y determinar el activo crítico, Análisis de Causa Raíz (ACR) para determinar las causas de fallas del activo crítico, Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE) para definir los números de prioridad de riesgo (NPR), jerarquizar las fallas del activo crítico, Análisis de Costo de Ciclo de Vida (LCC por sus siglas en inglés) para pronosticar los posibles “flujos de caja” durante la vida útil del activo crítico; incluyendo costos de capital (CAPEX) y costos Operativos (OPEX) convirtiéndolos en un valor que pueda ser comparado económicamente en el tiempo (para activos con tiempo de vida diferente).

Adicionalmente se ha tocado temas como: Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) para realizar la comparación entre el sistema de mantenimiento actual y el sistema de mantenimiento propuesto, Distribución de Weibull para determinar probabilísticamente el tiempo promedio entre fallas (MTBF) y el tiempo promedio para reparar (MTTR), simulación mediante software (Minitab 18, Arena 14, Raptor 6 y Crystal Ball 2016) para determinar los

principales indicadores de gestión de mantenimiento KPIs (confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, MTTR y MTBF), a partir de las tasas de fallas de los activos.

Como resultado de la aplicación de la metodología del RCM se espera incrementar la disponibilidad de los activos médicos así como la reducción de los costos asociados al mantenimiento de dichos activos.

Palabras Claves: RCM, Análisis de Criticidad (AC), Análisis de Causa Raíz (ACR), Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE), Costo de Ciclo de Vida (LCC), KPI.



ABSTRACT

Reliability Centered Maintenance (RCM) is a widely recognized and widely used methodology in the development of asset maintenance plans, based on ensuring asset functions for the satisfaction of the user or owner. Currently there are several methodologies for the implementation of RCM.

In this sense, we seek to implement the RCM methodology as a maintenance management system for a specific hospital that only has the traditional methods of maintenance (reactive and preventive).

The methodologies developed in this research for the implementation of the RCM are: Criticality Analysis (CA) to prioritize and determine the critical asset, Root Cause Analysis (RCA) to determine the causes of critical asset failures, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) to define risk priority numbers (RPM), hierarchy of critical asset failures, Life Cycle Cost Analysis (LCC) to predict possible "cash flows" during the critical asset's useful life; including capital costs (CAPEX) and operating costs (OPEX) converting them into a value that can be economically compared over time (for assets with different lifetimes).

In addition, we have touched on topics such as: Process Analysis Diagram (DAP) to make the comparison between the current maintenance system and the proposed maintenance system, Weibull Distribution to determine probabilistically the average time between failures (MTBF) and the average time to repair (MTTR), simulation by software (Minitab 18, Arena 14, Raptor 6 and Crystal Ball 2016) to determine the main maintenance management indicators KPIs

(reliability, availability, maintainability, MTTR and MTBF), from the failure rates of the assets.

As a result of the application of the RCM methodology, it is expected that the availability of medical assets will be increased and the costs associated with the maintenance of these assets will be reduced.

Keywords: RCM, Criticality Analysis (CA), Root Cause Analysis (RCA), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Life Cycle Cost (LCC), KPI.

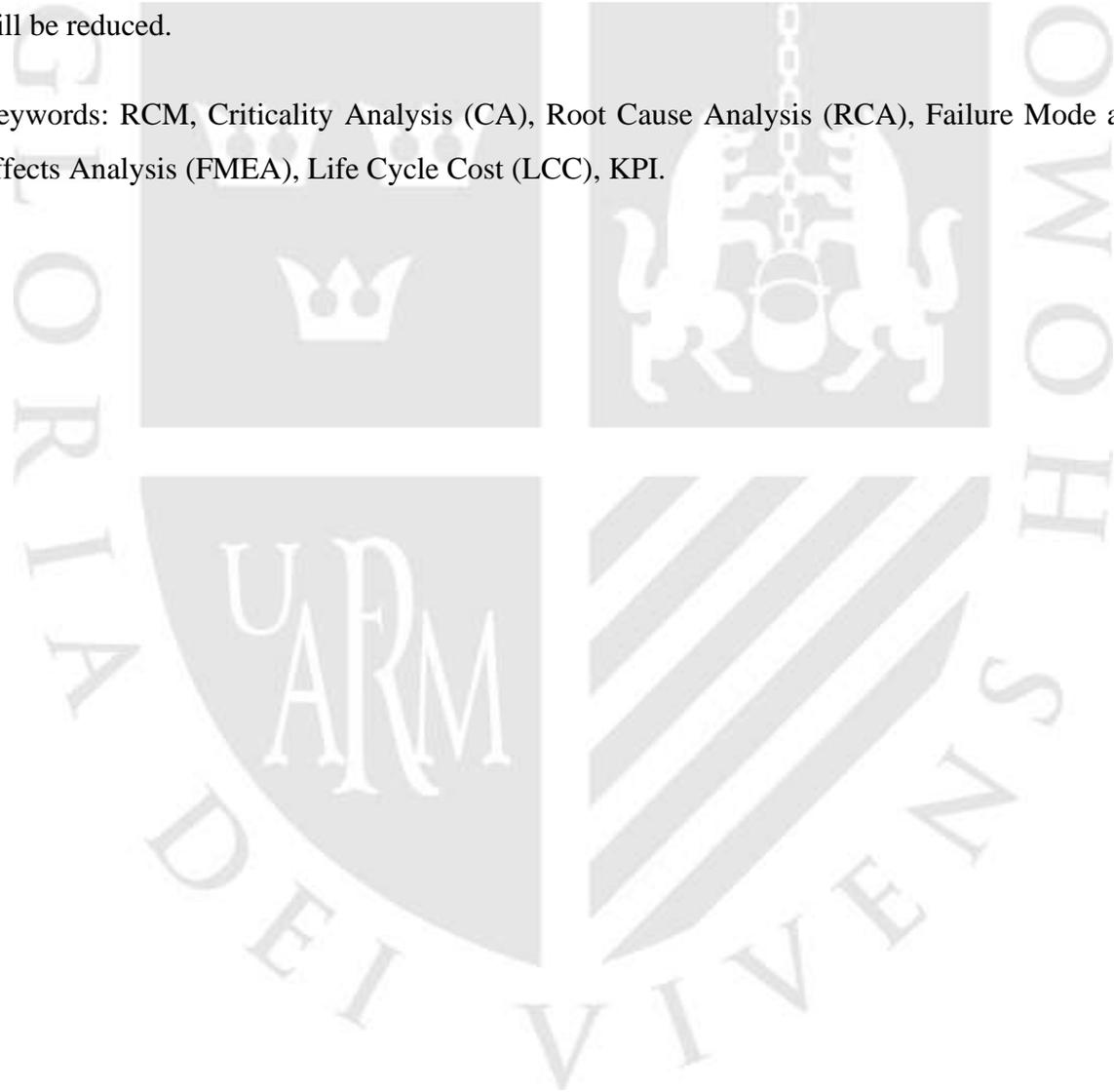


TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	23
I. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
1.1. Tema	25
1.2. Determinación del Problema	25
1.3. Antecedentes del Problema.....	27
1.4. Pregunta de Investigación.....	28
II. CAPÍTULO II: OBJETIVOS, JUSTIFICACIONES, ALCANCES Y LIMITACIONES.....	29
2.1. Objetivos de la investigación.....	29
2.1.1. Objetivo General.....	29
2.1.2. Objetivos Específicos	29
2.2. Justificación de la Investigación	30

2.2.1. Justificación Metodológica	30
2.3. Alcances y Limitaciones	30
2.3.1. Alcances.....	30
2.3.2. Limitaciones.....	30
III. CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	31
3.1. Antecedentes del estudio	31
3.1.1. Nacionales.....	31
3.1.2. Internacionales	31
3.2. Bases teóricas.....	32
3.2.1. Mantenimiento	32
3.2.2. Mantenimiento Hospitalario y Clínico	32
3.2.3. Priorización del equipamiento médico.....	33
3.2.4. Mantenimiento basado en confiabilidad RCM	34
3.3. Herramientas de Confiabilidad Operacional.....	35
3.3.1. Análisis de criticidad (AC)	36
3.3.2. Análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE).....	37
3.3.3. Elaboración de Análisis Causa Raíz (ACR)	39
3.3.3.1. Planteamiento de recomendaciones.....	41

3.3.4. Distribución de Weibull aplicado al RCM	42
3.3.4.1. Expresiones matemáticas de Weibull	42
3.3.4.2. Interpretación del Gráfico Weibull y la Curva de la Bañera	44
3.3.4.3. Diferentes valores de β en la curva de la Bañera.....	45
3.3.5. Análisis de costo de ciclo de vida (LCC) y Reemplazo	46
3.3.5.1. Cálculo LCC para seleccionar punto óptimo de vida económica.....	49
3.3.5.2. Modelos de Reemplazo Óptimo	51
3.3.6. Indicadores de gestión KPI	51
3.3.6.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)	52
3.3.6.2. Tiempo medio de reparación (MTTR)	53
3.3.6.3. Confiabilidad (R).....	53
3.3.6.4. Disponibilidad (D).....	53
3.3.6.5. Mantenibilidad (M)	54
3.4. Glosario de Términos.....	55
IV. CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....	57
4.1 Tipo de Investigación.....	57
4.2 Población y muestra.....	57
4.2.1 Descripción de la población.....	57

4.2.2	Selección de la muestra.....	58
4.3	Técnicas de Recolección de datos.....	60
4.3.1	Documentos y registros	60
4.3.2	Entrevista dirigida al personal técnicos	60
4.3.3	Observaciones en campo	60
4.4	Definición operacional de variables.....	61
4.4.1	Variable Independiente o de entrada	61
4.4.2	Variables Dependientes o de salida	62
4.5	Programas Informáticos para el procesamiento de la información.....	62
V.	CAPÍTULO V: DESARROLLO Y ANÁLISIS TÉCNICO	65
5.1	Situación Actual.....	65
5.1.1	Descripción de la empresa Chejampi Biomedical SAC	66
5.1.2	Aspectos generales del Centro Hospitalario en investigación	66
5.1.3	Ambientes Prestacionales del Centro Hospitalario.....	70
5.1.4	Plan de Mantenimiento Anual	71
5.2	Análisis de criticidad (AC)	73
5.2.1	Criterios para estimación de frecuencia de fallas	74
5.2.2	Criterios para estimación de consecuencias.....	75

5.2.3	Resultados del análisis de criticidad	76
5.3	Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE).....	78
5.3.1	Descripción del equipo crítico	79
5.3.2	Criterios Establecidos	82
5.4	Elaboración de Análisis Causa Raíz (ACR)	86
5.4.1	Enunciado del Problema	86
5.4.2	Modo de Falla.....	86
5.4.3	Posibles causas (Hipótesis).....	86
5.4.4	Desarrollo de árbol lógico de fallas	88
5.5	Determinación de la solución	89
5.5.1	Alternativa de solución N°1.....	90
5.5.2	Alternativa de solución N°2.....	90
5.5.3	Parámetros estadísticos y consideraciones	90
5.5.3.1	Parámetros estadísticos y consideraciones alternativa N°1	90
5.5.3.2	Parámetros estadísticos y consideraciones alternativa N°2.....	91
5.5.4	Modelo RAM.....	92
5.5.4.1	Resultados modelo RAM alternativa N°1	93
5.5.4.2	Resultados modelo RAM alternativa N°2	94

5.5.5	Costo de Ciclo de Vida (LCC).....	95
5.5.5.1	Definición de costos de ciclo de vida involucrando la confiabilidad.....	95
5.5.5.2	Costos de Capital CAPEX.....	96
5.5.5.3	Costos de operación (O).....	97
5.5.5.4	Costo de Mantenimiento Programado -MP (M).....	98
5.5.5.5	Costo por fallas – Mantenimiento Correctivo (L).....	99
5.5.5.6	Costos por pérdida de producción.....	99
5.5.5.7	Depreciación de los activos.....	100
5.5.5.8	Costo de Desincorporación (L).....	101
5.5.5.9	Consideraciones para el cálculo del LCC_{CAE}	101
5.5.5.10	Resultados del LCC_{CAE}	102
5.5.5.11	Análisis de reemplazo óptimo del activo.....	105
5.6	Comparación entre el sistema propuesto y el sistema existente.....	108
5.6.1	Indicadores de Gestión (KPI).....	108
5.6.2	Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio Para Reparar.....	108
5.6.2.1	Disponibilidad (D).....	110
5.6.2.2	Confiabilidad (R).....	111
5.6.2.3	Mantenibilidad (M).....	113

5.6.3	Diagramas de Actividades de Proceso (DAP)	114
5.6.3.1	DAP Sistema Existente.....	115
5.6.3.2	DAP Sistema Propuesto	116
5.6.3.3	Comparación de Diagramas de Proceso	117
5.6.4	Simulación del proceso existente y propuesto	118
5.6.4.1	Consideraciones para la simulación	118
5.6.4.2	Definición de parámetros estadísticos	120
5.6.4.3	Simulación del modelo de gestión existente	121
5.6.4.4	Simulación del modelo de gestión propuesto.....	121
5.6.4.5	Análisis de resultados de la simulación.....	121
VI.	CAPÍTULO VI: VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA.....	123
6.1	Viabilidad Técnica.....	123
6.2	Viabilidad Económica.....	123
6.2.1	Definición de las variables de entrada.	124
6.2.2	Definición de las variables de salida.....	124
6.2.3	Simulación del modelo.	124
VII.	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
7.1	Conclusiones.....	126

7.2	Recomendaciones	127
7.3	Referencias bibliográficas.....	128
VIII.	CAPÍTULO VIII: ANEXOS	133



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Hoja para análisis AMFE.....	38
Tabla N°2: Requisitos de algunos sistemas y enfoque de indicadores.....	52
Tabla N°3: Equipamiento médico UPSS Centro Quirúrgico.	58
Tabla N°4: Equipamiento médico del Sistema UPSS Centro Quirúrgico.....	59
Tabla N°5: Equipo de investigación.....	60
Tabla N°6: Categorías de establecimiento del sector salud.....	67
Tabla N°7: UPSS y Actividades relacionadas de Atención Directa.....	68
Tabla N°8: UPSS y Actividades relacionadas de Atención de Soporte Obligatorias	69
Tabla N°9: Ambientes Prestacionales del Centro Hospitalario - Atención directa.....	70
Tabla N°10: Ambientes Prestacionales del Centro Hospitalario - Atención de Soporte	71
Tabla N°11: Equipamiento médico del Sistema UPSS Centro Quirúrgico.....	74
Tabla N°12: Criterio para estimar la frecuencia de falla	75

Tabla N°13: Categorías o factores de impacto de la falla.	76
Tabla N°14: Criticidad de equipamiento médico UPSS Centro Quirúrgico.	77
Tabla N°15: Valoración de indicadores.....	82
Tabla N°16: Clasificación de número de prioridad de riesgo.....	82
Tabla N°17: Tabla de AMFE.....	85
Tabla N°18: Parámetros estadísticos para la alternativa N°1	91
Tabla N°19: Parámetros estadísticos para la alternativa N°2	92
Tabla N°20: Resultados modelo RAM para la alternativa N° 1	94
Tabla N°21: Resultados modelo RAM para la alternativa N°2.....	95
Tabla N°22: Costos de adquisición.	97
Tabla N°23: Costos de operación.....	98
Tabla N°24: Costos de mantenimiento programado	98
Tabla N°25: Costo por fallas mantenimiento correctivo.....	99
Tabla N°26: Costo por pérdida de producción.....	100
Tabla N°27: Costo por depreciación anual activo mejorado.....	100
Tabla N°28: Costo por depreciación anual – Activo nuevo.....	100
Tabla N°29: Costo de desincorporación.....	101
Tabla N°30: Valor presente neto del costo de ciclo de vida alternativa N°1.....	103

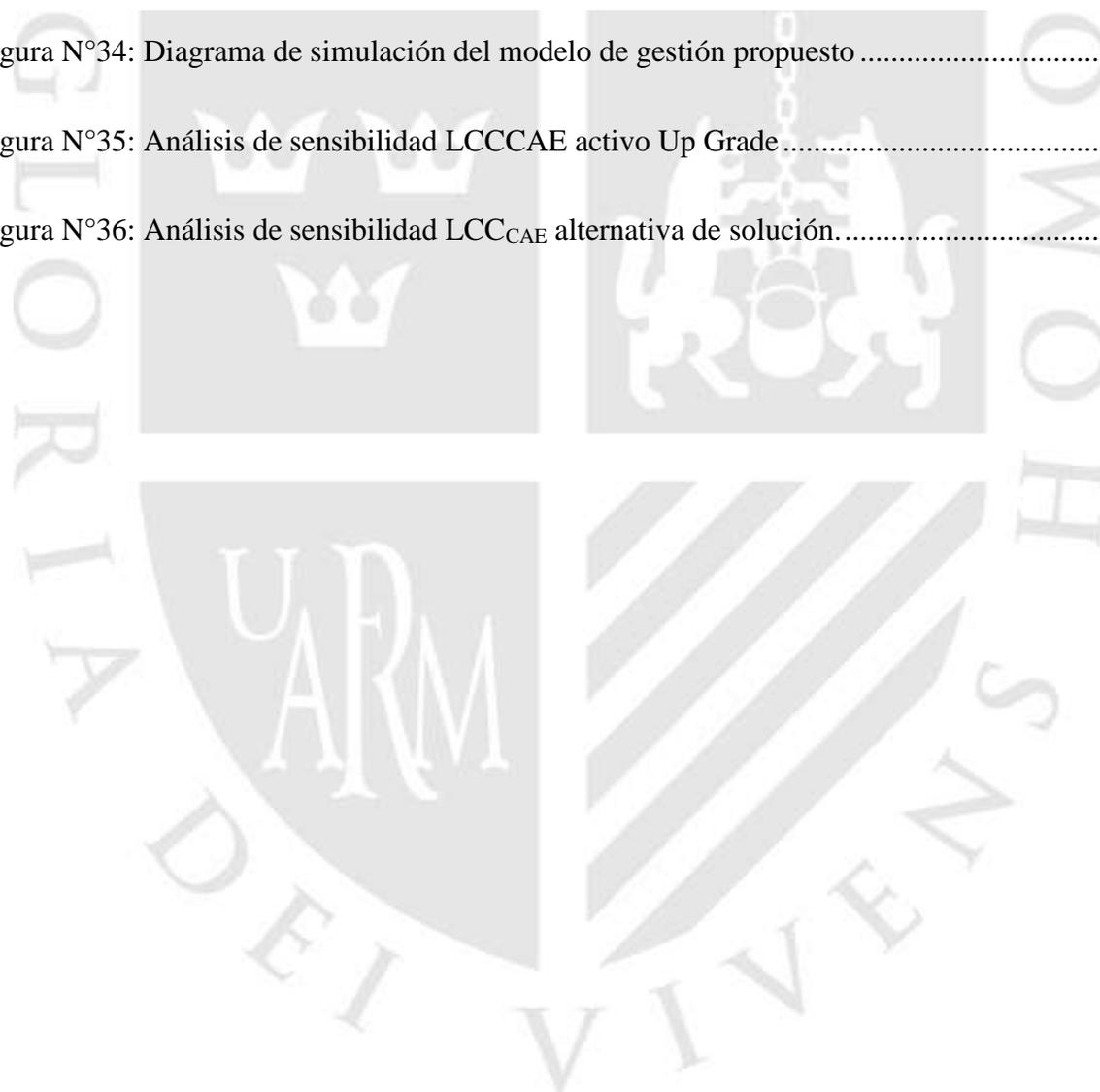
Tabla N°31: Valor presente neto del costo de ciclo de vida alternativa N°2.....	104
Tabla N°32: Determinación del reemplazo óptimo del activo seleccionado.	106
Tabla N°33: Comparación tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar.	108
Tabla N°34: Comparación de la disponibilidad.....	110
Tabla N°35: Comparación de la confiabilidad.....	112
Tabla N°36: Comparación de la mantenibilidad	113
Tabla N°37: Comparación DAP Sistema Existente vs Propuesto.....	118
Tabla N°38: Parámetros estadísticos de entrada.	120
Tabla N°39: Resultado simulación de antes y después.	122
Tabla N°40: Análisis de sensibilidad LCC_{CAE}	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 : Expectativas crecientes del mantenimiento.....	26
Figura N° 2: Matriz de criticidad.....	37
Figura N° 3: Árbol Lógico de Fallas.	41
Figura N°4: Distribución de Weibull para diferentes valores de β	44
Figura N° 5: Curva de la Bañera.	45
Figura N° 6: Costos del Ciclo de Vida.	47
Figura N° 7: Curva de costo CAPEX.	48
Figura N° 8 : Curva de costo OPEX.....	48
Figura N° 9: Curva de Vida Económica.....	49
Figura N° 10: Etapas para seleccionar el proyecto óptimo por LCC.	49
Figura N°11: Estructura para optimizar la decisión de reemplazo de activos.....	51
Figura N° 12 : Curvas típicas de indicadores de gestión.....	55

Figura N°13: Diagrama de variables de entradas y salidas	62
Figura N°14: Reporte de Incumplimiento Plan Mantenimiento III Trimestre 2018.	72
Figura N°15: Reporte de averías de equipamiento biomédico III Trimestre 2018.	72
Figura N°16: Esquema de componentes de máquina de anestesia.....	80
Figura N°17: Diagrama de Bloques de Máquina de anestesia	81
Figura N°18: Árbol Lógico de Fallas	88
Figura N°19: Esquema General de aplicación de un Análisis Causa Raíz.....	89
Figura N°20: Diagrama de bloques de confiabilidad máquina de anestesia	92
Figura N° 21: Ingreso de parámetros alternativa N°1 a software RAPTOR 4.0.	93
Figura N°22: Ingreso de parámetros alternativa N°2 a software RAPTOR 4.0.	95
Figura N°23: Costos asociados para el cálculo del costo de ciclo de vida- Norma SAE.....	96
Figura N°24: Ciclo de vida útil del activo.....	102
Figura N°25: Ciclo de vida útil económica del activo seleccionado.....	107
Figura N°26: Tendencia de MTBF.....	109
Figura N°27: Tendencia del MTTR	110
Figura N°28: Tendencia de la disponibilidad.....	111
Figura N°29: Tendencia de la Confiabilidad.....	112
Figura N°30: Tendencia de la mantenibilidad.....	114

Figura N°31: Diagrama de Análisis de Proceso Sistema Existente.	115
Figura N°32: Diagrama de Análisis de Proceso Sistema Propuesto.	117
Figura N°33: Diagrama de simulación del modelo de gestión existente.....	121
Figura N°34: Diagrama de simulación del modelo de gestión propuesto	121
Figura N°35: Análisis de sensibilidad LCCCAE activo Up Grade.....	124
Figura N°36: Análisis de sensibilidad LCC _{CAE} alternativa de solución.....	125





INTRODUCCIÓN

La presente investigación versará sobre cuáles son los lineamientos que se deben seguir para poder implementar la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para los equipos médicos de determinados Centros Hospitalarios custodiados por la empresa Chejampi Biomedical SAC. Es importante resaltar que el principal objetivo del RCM es aumentar la disponibilidad de los equipos médicos y reducir los costos asociados al mantenimiento.

La metodología utilizada para el desarrollo de esta investigación es del tipo no experimental, para ello se usarán técnicas de análisis relacionadas con la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, las cuales son descritas a continuación:

Mediante la técnica de Análisis de Criticidad (AC) determinamos cual es nuestro equipo crítico, luego mediante el Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE) identificamos cuales son los potenciales de fallo y finalmente mediante la técnica del Análisis Causa Raíz (ACR) determinaremos cuales son las causas físicas, humanas y latentes que originan la falla en nuestro equipo crítico.

Una vez identificadas las causas que originan la falla en nuestro equipo critico procedimos a determinar la solución más óptima haciendo uso del Costo de Ciclo de Vida (LCC), luego realizamos una comparación entre el sistema de mantenimiento actual y el sistema de

mantenimiento propuesto haciendo uso de los Indicadores de Gestión (KPI) y simulación de procesos.

Finalmente, mediante la factibilidad técnica y económica del sistema propuesto se ha demostrado que el sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad, logró mejorar la disponibilidad y la reducción de costos de mantenimiento en nuestro equipo crítico.



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Tema

Propuesta de mejora del sistema de gestión de mantenimiento, aplicando la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para los equipos médicos custodiados por la empresa Chejampi Biomedical SAC.

1.2. Determinación del Problema

(Ministerio de salud, 2006, pág. 35) Indica que, en todo centro hospitalario, el recurso humano y el equipamiento médico son factores de alto impacto, haciéndose imprescindible, su alta disponibilidad. Esto se logra con la ayuda del mantenimiento cuyo principal objetivo es “asegurar que todo activo físico continúe desempeñando las funciones deseadas y con costos compatibles”.

Las prácticas tradicionales de mantenimiento en los establecimientos de salud se agrupan por lo general en dos grandes sistemas. El mantenimiento correctivo, el cual consiste en utilizar el equipo hasta que presente avería y el mantenimiento preventivo el cual se realiza a intervalos de tiempo prefijados. (Barboza Arguedas, 2013, pág. 7) Indica que: La mayor proporción es dedicada al mantenimiento correctivo, o bien un 63,02%, y un 36.98% en preventivo.

En ese sentido nos realizamos la siguiente pregunta: ¿Cómo podemos mejorar el sistema de gestión de mantenimiento utilizado actualmente en los centros hospitalarios atendidos por la empresa Chejampi Biomedical SAC?

La tendencia actual de los establecimientos de salud es aplicar nuevas técnicas que permitan evaluar, diagnosticar y mejorar la confiabilidad y el desempeño del equipamiento médico para que de esa manera puedan cumplir con los requisitos mínimos que obliga el estado, “los establecimientos de salud, cualquiera sea su naturaleza o modalidad de gestión, deben cumplir los requisitos que disponen los reglamentos y normas técnicas en relación con el Equipamiento Médico y Mantenimiento”. (Ministerio de Salud del Perú. (N°110-MINSA/DIGIEM-V.01), 2013, pág. 72)

(John Moubray, 2004, Pág. 5), indica que en los últimos 20 años ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento los cuales son indicados en el Figura N°1.

<p>Primera Generación:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Reparar cuando se rompe. * Mtto. Correctivo. 	<p>Segunda Generación:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Mayor disponibilidad de planta. * Mayor vida de los equipos. * Menor costo. * Mtto. Preventivo, Predictivo. 	<p>Tercera Generación:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Mayor disponibilidad y confiabilidad de planta. * Mayor seguridad * Mayor vida de los equipos. * Ningún daño al medio ambiente. * Menor costo. * RCM (mantenimiento basado en la confiabilidad), TPM (mantenimiento productivo total) y derivaciones de los mismos.
1940 - 1960	1970 - 1990	2000 - 2010

Figura N° 1 : Expectativas crecientes del mantenimiento.

Fuente: Tomado de “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” (Mourbray, 2004, p. 5).

Con posterioridad, y en base a la creciente complejidad de los procesos, han surgido una serie de sistemas de mantenimiento, que partiendo de las formas o tipos convencionales: correctivo, preventivo o predictivo, han añadido vertientes más estratégicas vinculadas a la cultura empresarial, a la calidad total, a la sostenibilidad, a la logística como gestión de recursos, al flujo de materiales, a la disponibilidad y su coste.

(Valbor, 2018), menciona que los sistemas de mantenimiento basados en TPM Y RCM, son técnicas poderosas para mejorar la productividad de una empresa, así mismo indica que el TPM se basa en el uso intenso del mantenimiento preventivo, mientras que el RCM lo complementa al hacer uso del mantenimiento predictivo. El RCM identifica como y cuando se debe aplicar el mantenimiento preventivo o predictivo mediante el análisis de las fallas de los equipos.

En ese sentido podremos mejorar los sistemas de gestión de mantenimiento (actualmente convencionales), si hacemos uso de la técnica del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Este tipo de mantenimiento considera a cada equipo por separado, sustituyendo las revisiones periódicas por medidas periódicas y/o constantes que pueden seguir a detalle el estado de funcionamiento de cada equipo en particular.

Con la implementación de este sistema de gestión se evitará tener paradas que interfieran con el funcionamiento normal de los equipos y por ende cumplir con los objetivos operacionales y de ventas establecidas por los Centros Hospitalarios atendidos por la empresa Chejampi Biomedical SAC.

1.3. Antecedentes del Problema

En la actualidad la mayoría de establecimientos de salud no cuentan con un sistema de gestión de mantenimiento definido para el equipamiento médico como se puede constatar en el diagnóstico físico funcional hospitalario del Ministerio de Salud. “Actualmente los establecimientos de salud a nivel nacional, no cuentan con planes de gestión en mantenimiento integral y está ausente un sistema que permita una capacidad de respuesta oportuna de calidad a cargo de profesionales especializados” (Ministerio de salud, 2006, pág. 80). Y así mismo lo reafirma la investigación de la Infraestructura Hospitalaria Publica en el Perú” (Cevallos Scudin, 2016, pág. 8).

Por otra parte, el estado a través del marco regulatorio impone fuertes multas que pueden llegar hasta quinientas (500) UIT, cierre definitivo del local, pago de compensaciones en caso

de incumplimiento de normas y calidad del servicio. Tal como lo indica la disposición del estado “No contar o no cumplir con el plan de mantenimiento preventivo o correctivo de la instalación o del equipamiento médico en cualquier caso es considerado una infracción” (Ministerio de Salud del Perú RIS N° 031- 2014-SA., 2014, pág. 26).

A continuación, se tiene un caso de éxito en el sector salud aplicando el Sistema de gestión de mantenimiento para el equipamiento médico de una clínica peruana: “Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento de una clínica particular en la ciudad de Lima. (César Adolfo García Urriaga 2014 – Perú)”. En este trabajo se planteó el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento donde se desarrolló lo siguiente:

- Un plan de capacitación para el personal de mantenimiento en aspectos técnicos.
- Desarrollo del sistema de gestión para el departamento de mantenimiento de la clínica.
- Se proponen políticas de mantenimiento y planeamiento de la gestión a fin de mejorar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos.
- Se elaboró manual de organización de funciones, normas, procedimientos y formato de presupuesto de mantenimiento.
- Se elaboró los indicadores de control para medir el rendimiento.

(García Urriaga, 2014, pág. 97) Afirma que: Las Proyecciones de ahorro podría ascender desde un 5.5% hasta 15.3% con relación del gasto anual en el mantenimiento de equipos críticos y este ahorro podría incrementarse anualmente en la medida que los controles de mantenimiento permitan generar las bases para su mejor aplicación a base de la experiencia y continuidad de los mismos.

1.4. Pregunta de Investigación

¿Será posible realizar la propuesta de mejora del sistema de gestión de mantenimiento, aplicando la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para los equipos médicos custodiados por la empresa Chejampi Biomedical SAC?

CAPÍTULO II: OBJETIVOS, JUSTIFICACIONES, ALCANCES Y LIMITACIONES

2.1. Objetivos de la investigación

2.1.1. Objetivo General

Proponer la mejora del sistema de gestión de mantenimiento, mediante la metodología centrada en la confiabilidad (RCM) para los equipos médicos custodiados por la empresa Chejampi Biomedical SAC.

2.1.2. Objetivos Específicos

- Clasificar el equipamiento médico de acuerdo al grado de criticidad que represente en el proceso operativo del Centro Hospitalario atendido por la empresa Chejampi Biomedical SAC.
- Aplicar técnicas de análisis para elaborar el nuevo sistema de gestión basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad
- Validar que los indicadores de desempeño del sistema de gestión de mantenimiento basada en la confiabilidad (RCM), son superiores a los indicadores del sistema de gestión existente.
- Establecer el procedimiento para la implementación de la metodología centrada en la confiabilidad (RCM), para los equipos médicos custodiados por la empresa Chejampi Biomedical SAC.

2.2. Justificación de la Investigación

2.2.1. Justificación Metodológica

Para conseguir los objetivos del presente estudio, se ha seguido una investigación del tipo no experimental, para ello utilizaremos técnicas de análisis relacionadas con el uso del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), la misma que será considerada como nuestra variable independiente.

Las recomendaciones que se obtengan de este análisis ayudarán a mejorar nuestro sistema de gestión de mantenimiento, por tanto, será considerada como nuestra variable dependiente.

2.3. Alcances y Limitaciones

2.3.1. Alcances

El presente estudio tiene como alcance realizar un modelo, que permita simular eventos de mantenimiento asociados al equipamiento médico custodiado por la empresa Chejampi Biomedical SAC, a fin de demostrar el incremento de la disponibilidad y la reducción de costos de mantenimiento que generará la implementación del nuevo sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad.

2.3.2. Limitaciones

- a. La implementación del presente estudio puede resultar extenso y costoso al comienzo (en ese sentido se realizará un modelado para ver el comportamiento del sistema propuesto), luego el tiempo y los costos se verán reducidos pues el presente estudio servirá como base para posteriores implementaciones.
- b. El periodo de tiempo para establecer los formatos para la recolección de los datos necesarios de la presente investigación es de aproximadamente tres (3) meses.

III. CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.

3.1. Antecedentes del estudio

3.1.1. Nacionales

- Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento de una clínica particular en la ciudad de Lima. Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller César Adolfo García Urriaga 2014 – Perú– Pontificia Universidad Católica del Perú – 2014 – Lima, Perú.

Metodología utilizada Cualitativa: Para el cálculo de la criticidad de los equipos e instalaciones, emplea criterios tales como: la frecuencia de falla, el impacto operacional, la flexibilidad operacional, el costo de mantenimiento y el impacto en la seguridad ambiental y humana.

Para nuestra investigación tomaremos como referencia: La elaboración de, procedimientos, manuales de organización de funciones, normas y formatos de control que en esta investigación han sido profundizadas.

3.1.2. Internacionales

- Elaboración de un Modelo de gestión de Mantenimiento en el Hospital Básico Baños. Tesis para optar el Título grado de Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial, que presentan el Ingeniero Franklin Geovanny Lobato Inca - Universidad Escuela Superior Politécnica de Chimborazo- 2015- Riobamba, Ecuador.

El método utilizado es el Inductivo - Deductivo donde se utiliza el razonamiento lógico para obtener conclusiones que partirán de hechos particulares que se

presentan día a día en la Gestión del Mantenimiento del Hospital Básico Baños y su influencia en la calidad y seguridad en la atención de los pacientes

Para nuestra investigación tomaremos como modelo: El criterio para el manejo de contrato de servicios y Outsourcing dentro de la función de mantenimiento.

- Diseño e implementación de un modelo de gestión para el mantenimiento centrado en la confiabilidad de los equipos del departamento de Electro Medicina de un Hospital (MARINES H Y RAUL H, 2004 - Venezuela). Tesis para obtener el título de ingeniero industrial, que presenta los bachilleres Marines H y Raúl H, – Universidad Central de Venezuela – 2004, Venezuela.

Utiliza el método

Se realiza un análisis Cualitativo y Descriptivo porque trata de describir las características del mantenimiento hospitalario, los factores que han contribuido con el deterioro de la Gestión del Mantenimiento de los equipos médicos y su incidencia en la calidad y seguridad en la atención a los pacientes.

Para nuestra investigación tomaremos como modelo: Los criterios del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) que han sido tomados para priorizar mantenimiento a los equipos hospitalarios teniendo en consideración la familia, prioridad y el nivel de criticidad de cada equipo.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Mantenimiento

Mantenimiento es el conjunto de actividades desarrolladas con el fin de conservar los bienes (inmuebles, muebles, equipos, instalaciones, herramientas, etc.) en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico.

El Mantenimiento tiene como objetivo técnico el disponer de los activos físicos en buenas condiciones operacionales y como objetivo económico la protección y conservación de las inversiones, la garantía de productividad y la seguridad en el servicio dentro de la compañía.

3.2.2. Mantenimiento Hospitalario y Clínico

En el mantenimiento a nivel hospitalario, para poder llevar a cabo una planificación del programa, la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica tres factores: “inventario, metodología y recursos (financieros, materiales y humanos)”.

Los recursos materiales, incluyen lugar de trabajo, Sistemas Computacionales de Gestión del Mantenimiento (CMMS), herramientas y equipos de medición adecuados” (Organización Mundial de la Salud, 2012). Estos últimos pueden ser analizadores, insumos, repuestos en lugares accesibles, manuales de uso, etc. Los primeros ayudan a dar una certeza de las lecturas y seguridad, tanto de los pacientes como del personal. Esta referencia subraya que los aspectos a considerar al momento de cambiar la frecuencia de las inspecciones son:

- Normativa
- Frecuencia de uso
- Fiabilidad del dispositivo
- Grado de desgaste del equipo con el uso normal
- El número y especialización de los técnicos

3.2.3. Priorización del equipamiento médico

En los hospitales existen diferentes tipos de equipamiento médico, donde sus clasificaciones según, (Dhillon B, 2006, pág. 130) son las siguientes:

- Equipos de laboratorio: centrifugas, equipos de refrigeración, analizadores, entre otros.
- Soporte de vida y terapéutico: ventiladores, instrumentos quirúrgicos motorizados, dispositivos con láser, máquinas de anestesia, entre otros.
- Imágenes y terapia de irradiación: máquinas de rayos x, aceleradores lineales, dispositivos de ultrasonido, entre otros.
- Equipamiento utilizado en Transporte y la ambientación de salas: camillas, sillas de ruedas, lámparas de exploración, entre otros.
- Equipamiento utilizado en el diagnóstico del paciente: monitores fisiológicos y endoscopios, entre otros.

- Misceláneo del equipamiento médico: Se clasifica al equipamiento que no se incluye en ninguna de las 5 clasificaciones anteriores, como esterilizadores, entre otros.

Dentro de esta clasificación, los equipos de soporte de vida y terapéutico, se definen como equipamiento médico crítico y, por consiguiente, le otorga prioridad en el mantenimiento, específicamente a las máquinas de anestesia, monitorización hemodinámica, desfibriladores, ventiladores fijos y de transporte, monitores de diálisis, incubadoras, ambulancia de emergencia.

3.2.4. Mantenimiento basado en confiabilidad RCM

El mantenimiento está cambiando los paradigmas considerablemente, surgiendo así nuevas metodologías, como “Reliability Centered Maintenance” (RCM). Este tipo de mantenimiento según Moubray es “un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual” (Mourbray, 2004, pág. 79)¹. El RCM se encuentra expresamente reconocido en las normativas publicadas por “The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air And Space” (SAE), las cuales son: “Criterios de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” (SAE JA 1011) y “Una Guía para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” (SAE JA 1012).

(Omar Campos, 2018) Indica que, en la actualidad, el RCM es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de equipos complejos.

¹ Jhon Moubray fue uno de los pioneros en desarrollar la metodología del RCM, por ese motivo es tomado como referencia en la presente investigación.

El RCM es un enfoque sistémico utilizado para diseñar planes y programas que aumentan la confiabilidad de los equipos con un mínimo costo y riesgo; para lo cual combinas técnicas de Mantenimiento autónomo (AM), mantenimiento correctivo (CM), mantenimiento preventivo (PM) y mantenimiento basado en la condición (CBM) mediante técnicas y estrategias justificadas económicamente.

El objetivo principal del RCM es la de conservar la función del sistema o de los subsistemas que lo conforman, antes que la función del equipo.

La metodología del RCM se puede resumir en seis pasos:

- Identificar los sistemas básicos del centro hospitalario y definir sus funciones principales
- Identificar los modos de falla que producen cualquier falla funcional
- Jerarquizar las necesidades funcionales de los equipos mediante el análisis de criticidad.
- Determinar la criticidad de los efectos de las fallas funcionales.
- Emplear el diagrama de árbol lógico para establecer la estrategia de mantenimiento
- Seleccionar las actividades proactivas más convenientes u otras acciones que ayuden a conservar la función del sistema.

3.3. Herramientas de Confiabilidad Operacional

A continuación, indicamos las principales herramientas que se utilizan para mejorar la gestión y confiabilidad de los activos:

3.3.1. Análisis de criticidad (AC)

(Universidad Pemex., 2007, pág. 4) Define que:

El Análisis de Criticidad (AC) es una metodología que permite establecer jerarquías entre: Instalaciones, Sistemas, Equipos y Elementos de un equipo. De acuerdo con su impacto total en el negocio, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción (IP) y daños en la instalación (DI).

El AC es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de fallas y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la Instalación, Sistema, Equipo o Dispositivo (ISED) bajo análisis, tal como se ilustra en la figura N°2.

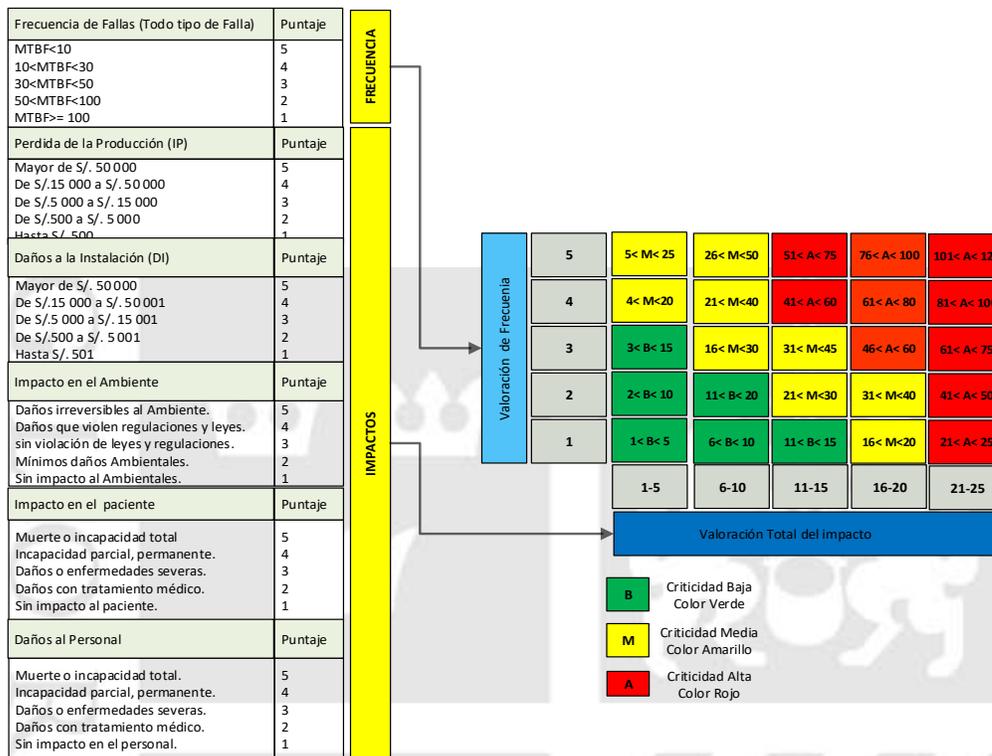


Figura N° 2: Matriz de criticidad.

Fuente: Tomado de “Revista Sistema de Confiabilidad Operacional - Análisis Criticidad”, (Universidad Pemex., 2007, pág. 4)

3.3.2. Análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE)

“El Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE), es un método sistemático que es utilizado para detectar y corregir los posibles defectos del producto antes de que este llegue al cliente” (Miranda González, Chamorro Mera, & Rubio Lacoba, 2007, p. 135)

(Navarro Diaz, 2004, p. 37) Afirma que:

El AMFE es un método riguroso de análisis, que usa experiencias de: estudios, métodos, mantenimiento, fabricación y calidad. Es un método cualitativo que permite analizar los tipos de fallos reales o potenciales, sus posibles causas, consecuencias y medios para evitar las mismas. El objetivo de este método es encontrar causas de fallos y evaluar su criticidad teniendo en cuenta frecuencia de aparición y gravedad del fallo.

Se realiza mediante una hoja estructurada que guía el análisis (ver tabla N°1), la hoja de análisis AMFE presenta varias secciones sujetas a ser llenadas, cada una de estas posee una definición que debe ser tomada en cuenta antes de proceder con el llenado.

Tabla N° 1: Hoja para análisis AMFE

SECCIÓN:				REALIZADO POR:				HOJA No:			
EQUIPO/TAG:				FECHA:				NOMBRE FICHA:			
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	CAUSA RAIZ	EFECTO	VALORACIÓN				RECOMENDACIÓN		
					F	G	D	NPR			

Fuente: Recuperado de “Técnicas de mantenimiento Industrial”, (Navarro Diaz, 2004, p. 39).

A continuación, indicamos como debemos realizar el llenado de cada una de las columnas indicadas:

- Funciones: “Describe las especificaciones y expectativas de desempeño que se le exigen al activo físico que se está analizando” (Navarro, 2004).
- Fallo funcional: “Es la falta o incumplimiento de la función, se define como la incapacidad de un ítem para satisfacer un parámetro de desempeño deseado” (Navarro, 2004).
- Modo de fallo: “Forma en que el dispositivo o sistema puede dejar de funcionar. Es relativo a cada función de cada elemento, se expresa en términos físicos: rotura, aflojamiento, atascamiento, fuga, agarrotamiento, entre otros” (Navarro, 2004).
- Causa Raíz: “Anomalía inicial que puede conducir al fallo. Un mismo tipo de fallo puede conducir a varias causas” (Navarro, 2004).
- Valoración: Se realiza la asignación de valores a los índices de evaluación indicadas como Frecuencia (F), Gravedad (G) y Detección (D), los cuales dan

como producto el Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Este resultado nos permite priorizar las acciones que debemos tomar.

El NPR puede ser un número entre 1 y 1000 y nos indica la prioridad en la que debemos eliminar cada falla.

- Recomendación: Cuando el NPR es superior a un valor estándar establecido por la empresa (por ejemplo 100), se deben implementar acciones de prevención y/o corrección para evitar que se produzca la falla.

3.3.3. Elaboración de Análisis Causa Raíz (ACR)

(Universidad Pemex, 2007, p. 5) Define que:

El Análisis Causa Raíz (ACR) es una metodología de confiabilidad que emplea un conjunto de técnicas o procesos, para identificar factores casuales de falla. Es decir, el origen de un problema definido, relacionado con el personal, los procesos, las tecnologías, y la organización, con el objetivo de identificar actividades o acciones rentables que los eliminen.

El ACR nos permite hallar el problema subyacente, o la raíz de la causa de las fallas, proporciona a la empresa una solución al problema y elimina el enigma del porque los equipos fallan. Una vez que se han identificado las causas raíz, se puede ejecutar un plan correctivo.

La metodología del ACR está definida por un procedimiento de trabajo el cual consta de seis pasos:

- Paso 1: Identificar los eventos más importantes.
- Paso 2: Preservar las evidencias de las fallas.
- Paso3: Ordenar el análisis.
- Paso 4: Construir el árbol lógico de fallas.
- Paso 5: Planteamiento de recomendaciones.
- Paso 6: Comunicación y seguimiento a las recomendaciones.

Para la construcción del árbol lógico de fallas indicado en el paso 4, se requieren de siete actividades claramente delimitadas que se deben realizar en el orden establecido en el Figura N°3. Dentro de los tipos de causa raíz que se obtienen como resultado del árbol lógico tenemos:

- **Causas Raíces Físicas:** Son las causas que provocan directamente el disparo de los equipos, están relacionadas con fallas de componentes físicos del equipo o sustancias, como el lubricante, refrigerante o el combustible. Son los efectos de las causas raíces humanas (Guía de Aprendizaje - Pemex, 2012).
- **Causas Raíces Humanas:** Son el origen de las causas raíces físicas. Son ocasionadas por la intervención inapropiada del factor humano. Generalmente, se relacionan con: descuido, olvido o equivocación, es decir, errores u omisiones. Son los efectos de las causas raíces latentes (Guía de Aprendizaje - Pemex, 2012).
- **Causas Raíces Latentes o de Sistema:** Son el origen de las causas raíces humanas. Tienen que ver directamente con el sistema organizacional o de administración. Se refiere a la no utilización de procedimientos, falla de programas, entre otras, que de no ser corregidos conducirán a la repetición del problema (Guía de Aprendizaje - Pemex, 2012).

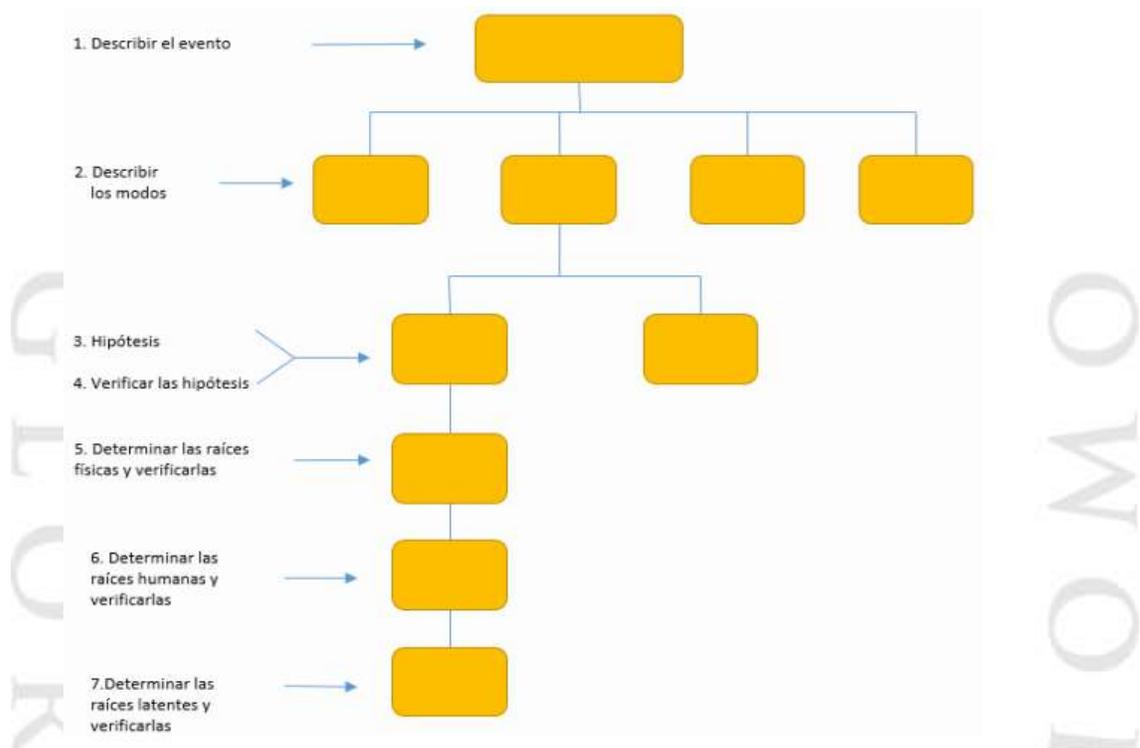


Figura N° 3: Árbol Lógico de Fallas.

Fuente: Tomado de “Confiabilidad y análisis estadístico para la predicción de fallas, seguridad, supervivencia, riesgo, costo y garantías de los equipos”, (Murillo M, 2014, p. 14).

3.3.3.1. Planteamiento de recomendaciones

El Planteamiento de recomendaciones es uno de los pasos más importantes, después de haberse realizado el árbol lógico de fallas, pues se tiene que determinar las soluciones que resolverán los problemas de forma sustentable, de tal manera que éstos no se repitan.

Se deberán plantear las acciones necesarias para corregir las causas raíces físicas que provocan la falla; así como para corregir las causas latentes, que hacen que las personas cometan errores y omisiones, así como la aparición de los problemas organizacionales.

Es importante enfocarse en corregir las causas latentes y no llevar acciones punitivas con las personas. Esto quiere decir que las acciones deben estar encaminadas a corregir causas físicas y causas latentes únicamente.

3.3.4. Distribución de Weibull aplicado al RCM

La distribución de Weibull es una distribución continua y triparamétrica, es decir, está completamente definida por tres parámetros y es la más empleada en el campo de la Fiabilidad.

(Bertram L, 2009, p. 50) Afirma que:

La Distribución Weibull es empleada en problemas relativos a la vida de fatiga de los materiales. Mientras que la distribución exponencial negativa queda definida por un solo parámetro λ , y la distribución normal por parámetros α , σ , se requiere tres parámetros para definir inequívocamente una distribución de Weibull en particular. Estos tres parámetros son: parámetro de escala α , el parámetro de forma β y el parámetro de origen γ que intervienen en la función de densidad de Weibull.

La determinación de los tres parámetros permite, utilizando tablas, evaluar la MTBF y la desviación típica. Por otra parte, el conocimiento del parámetro de forma β es de gran utilidad para diagnosticar el ciclo de vida del activo.

3.3.4.1. Expresiones matemáticas de Weibull

Sea la variable aleatoria continua t , distribuida de acuerdo con la ley de Weibull

Función de Densidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

Endonde $\beta, \eta > 0$ y $(t - \gamma) \geq 0$

En cualquier otra parte $f(t) = 0$

Función de distribución acumulada de probabilidad de fallo:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)}$$

Donde:

β = Parámetro de forma (indicador del mecanismo de falla).

η = Parámetro de escala (unidad de tiempo).

γ = Parámetro de localización (vida mínima).

Función de confiabilidad:

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]}$$

Se hace la observación que para $\gamma=0$ y $\beta=1$, se reduce a la distribución exponencial, caso particular de la ley de Weibull en dónde:

Tasa de falla (λ):

$$\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$$

Tasa instantánea de fallo:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

En la figura N°4 podemos apreciar el comportamiento de la distribución Weibull para diferentes valores del parámetro de Forma β .

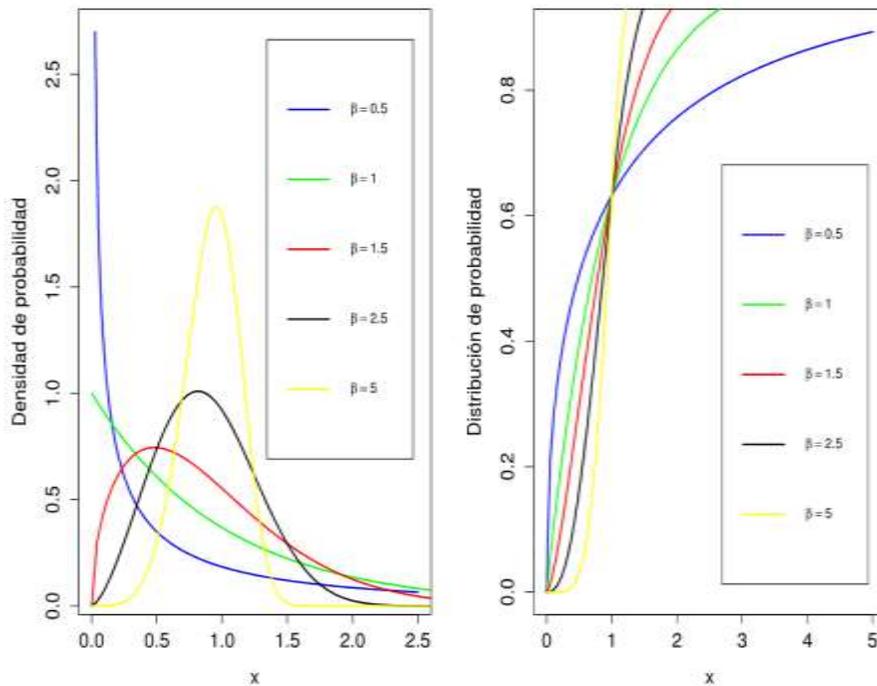


Figura N°4: Distribución de Weibull para diferentes valores de β .

Fuente: Tomado de “Mantenimiento Mediante la Aplicación de la Distribución de Weibull a un Histórico de Fallos”, (Romero Lopez, 2012, pág. 15)

La distribución modela la distribución de fallos (en sistemas) cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo:

- Un valor $\beta < 1$, indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo.
- Cuando $\beta = 1$, la tasa de fallos es constante en el tiempo.
- Un valor $\beta > 1$, indica que la tasa de fallos crece con el tiempo.

3.3.4.2. Interpretación del Gráfico Weibull y la Curva de la Bañera

Curva de la Bañera, se gráfica y describe una forma particular de la función de riesgo, la cual comprende tres partes o etapas complementarias que abarcan desde el nacimiento del activo, hasta la extinción de su vida útil: La primera parte de la curva, expresa una tasa de fracaso (fallo), en disminución, a partir del momento cero (puesta en marcha), conocida como la zona de fallos prematuros. La segunda parte de la curva, es una tasa de fracaso (fallo) constante, conocida como zona de fallos aleatorios. La

tercera parte, es una tasa de fracaso cada vez mayor, conocida como fracasos, representando a aquellos años en que el producto excede su vida de diseño.

(Murillo M, 2014) Indica que:

La curva de la bañera puede ayudar a entender la relación entre β y los mecanismos de falla a través de la vida de un componente. Weibull provee una pista acerca de los mecanismos de falla, con las diferentes pendientes o parámetro forma, implicando en las diferentes formas de falla, en la gráfica N°5 se muestra la curva de la bañera.

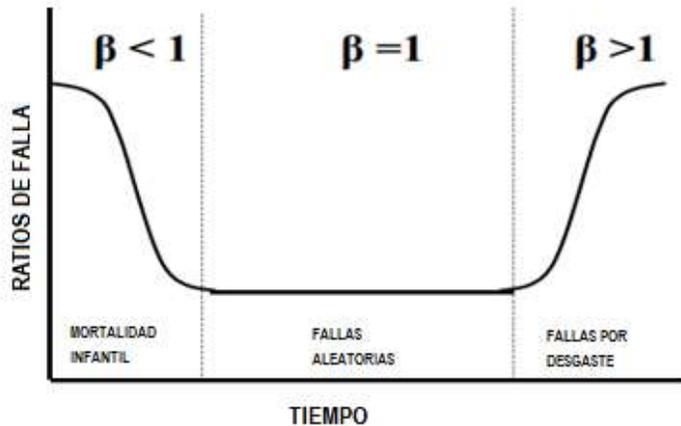


Figura N° 5: Curva de la Bañera.

Fuente: Tomado de " Confiabilidad y análisis estadístico para la predicción de fallas, seguridad, supervivencia, riesgo, costo y garantías de los equipos ", (Murillo M, 2014, pág. 7).

3.3.4.3. Diferentes valores de β en la curva de la Bañera

$\beta < 1$ Implica Mortalidad Infantil: Los Equipos electrónicos y mecánicos pueden comenzar con un alto índice de fallas al inicio de los proyectos y nuevos diseños, otros modos de falla son:

- Problemas de producción, desensamble, control de calidad, Overhaul.
- Fallas en componentes eléctricos.

$\beta = 1$ Implica Falla Aleatoria: Falla independiente del tiempo o aleatorias y es igual a una distribución exponencial.

- Errores de mantenimiento / errores humanos
- Fallas debido a naturaleza, daños u objetos desconocidos, rayos.
- Mezcla de datos desde 3 o más modos de falla.
- Intervalos entre fallas.
- Overhaul no apropiado.

$1 < \beta < 4$ Implica falla por deterioro temprano: Si esta falla ocurre dentro del diseño de la vida es una desagradable sorpresa. Estas son muchas fallas de modo mecánicos en esta clase.

- Bajo ciclo de Fatiga.
- Muchas fallas de rodamiento.
- Corrosión, erosión.

$\beta > 4.0$ Implica deterioro rápido por edad de uso: Típicos modos de falla con edades muy viejas y rápida salida por uso, también incluye.

- Corrosión por esfuerzo.
- Propiedades de los materiales.
- Materiales como cerámicas.
- Algunas formas de erosión.

3.3.5. Análisis de costo de ciclo de vida (LCC) y Reemplazo

El Análisis de Costo de Ciclo de Vida, cuantifica la totalidad de los gastos (directos o indirectos, fijos o variables) incurridos por el activo a lo largo de su vida útil.

(Barringer, & Weber, 2006, p. 2) Define al LCC como:

La sumatoria de los costos estimados desde el comienzo hasta su disposición, tanto para equipos como proyectos, determinados por un estudio y estimación analítica de

los costos totales experimentados durante la vida de los equipos o proyectos. El análisis LCC sirve para justificar la selección del equipo y del proceso, basada en los costos totales más el precio inicial de compra.

El Análisis de Costo de Ciclo de Vida, asegura la combinación óptima de los costos de capital (CAPEX se refiere a los costos de diseño, construcción e instalación) y a los costos operativos (OPEX se refiere a costos incurridos para operar y comprende los costos de energía y mantenimiento del activo), en la figura N°6, se muestra los costos del ciclo de vida de un producto en bloques.



Figura N° 6: Costos del Ciclo de Vida.

Fuente: Tomado de "Ddecisión de Reemplazo o reparación del Equipo", de (Fuentemayor, Sojo, & Duran, 2011, pág. 2)

El proceso del Análisis de Costos del Ciclo de Vida se debe desarrollar mediante las siguientes etapas:

- Conocimiento del Costo de Capital (CAPEX).
- Conocimiento de los Costos Operativos (OPEX).
- Cálculo de los costos totales de vida.
- Seleccionar el punto óptimo de reemplazo.

En los Figuras N°7 y N°8 se pueden apreciar la tendencia del costo CAPEX en el cual se aprecia que con el pasar de los años el costo de la inversión se va decayendo mientras que el costo OPEX aumenta con el pasar de los años.

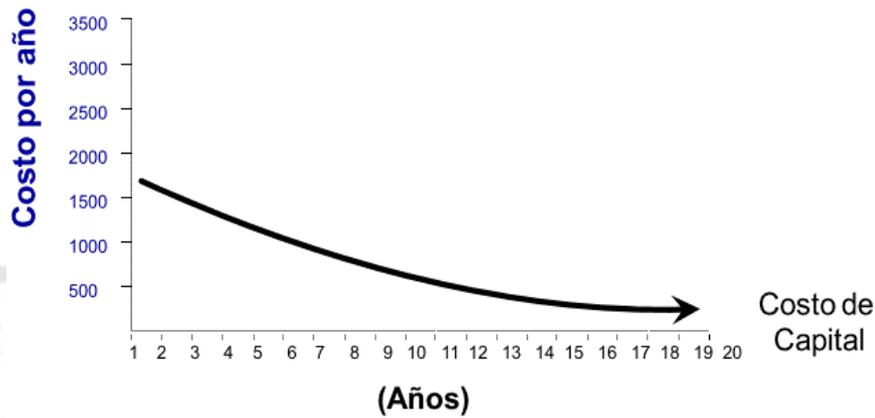


Figura N° 7: Curva de costo CAPEX.

Fuente: Recuperado de "Decisión de reemplazo o Reparación del Equipo" de (Fuentemayor, Sojo, & Duran, 2011, pág. 4).

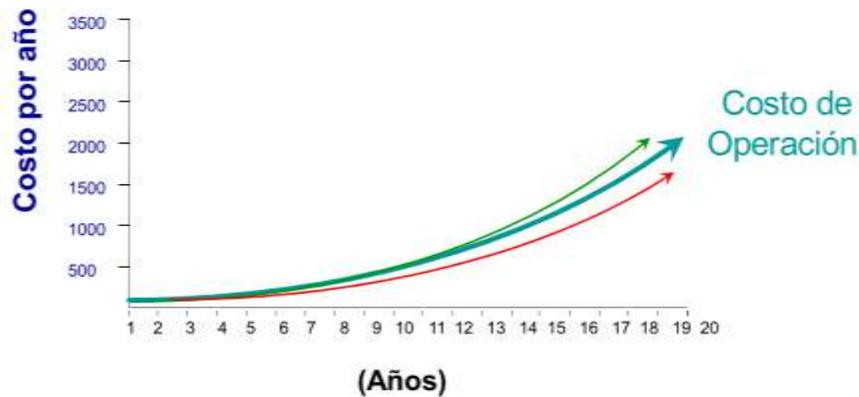


Figura N° 8 : Curva de costo OPEX.

Fuente: Recuperado de "Recisión de reemplazo o Reparación del Equipo" de (Fuentemayor, Sojo, & Duran, 2011, pág. 5).

Para determinar el punto óptimo se desarrolla la curva CAPEX y la curva OPEX (ver Figura N°9), con tres escenarios; Optimista, Medio y Pesimista, esto representa la diferencia entre escenarios que nos permite simular la incertidumbre, identificar las alternativas asociadas para jerarquizarlas según su beneficio.

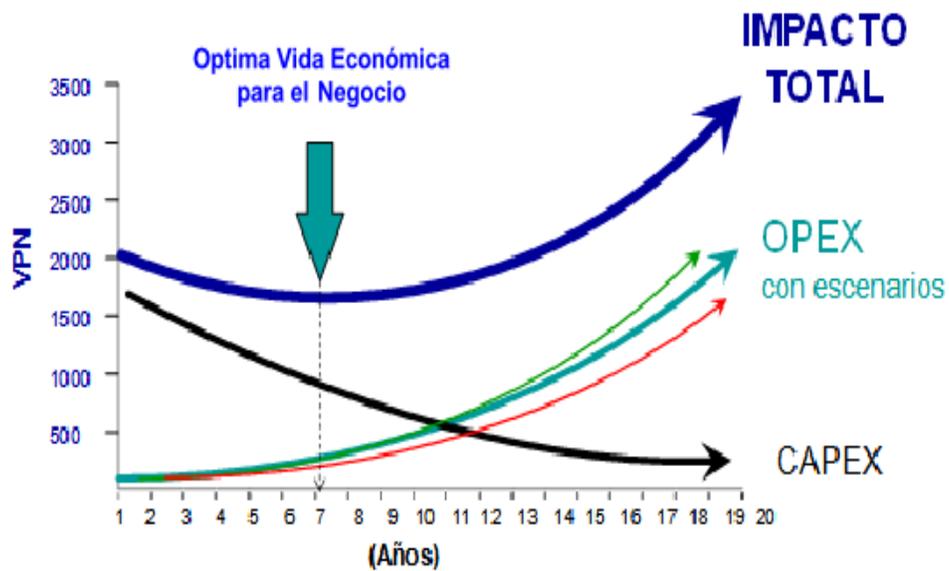


Figura N° 9: Curva de Vida Económica.

Fuente: Recuperado de "Decisión de reemplazo o Reparación del Equipo" de (Fuentemayor, Sojo, & Duran, 2011, pág. 7)

3.3.5.1. Cálculo LCC para seleccionar punto óptimo de vida económica

Desde el diseño se establece una esperanza de vida útil el cual es representado por el costo total de ciclo de vida medido mediante el VAN (Valor Actual Neto) de una opción de inversión tomando en cuenta todos los costos de capital, los costos de operación, los costos de reemplazo, los costos de disposición e ingresos. En el Figura N°10 se muestran las etapas a lo largo del periodo seleccionado.

Etapa 1/5	Etapa 2/5	Etapa 3/5	Etapa 4/5	Etapa 5/5
Identificar las opciones de inversiones potenciales	Identificar los costos e ingresos asociados a cada opción a largo plazo	Evaluar los flujos de caja vs tiempo.	Descontar los flujos de caja futuros para obtener el VPN de cada opción	Seleccionar la mejor opción basado en el costo total del ciclo de vida

Figura N° 10: Etapas para seleccionar el proyecto óptimo por LCC.

Fuente: Recuperado de "decisión de reemplazo o reparación del Equipo" de (Fuentemayor, Sojo, & Duran, 2011, pág. 7).

Para realizar el análisis completo se deben conocer los costos agrupados en CAPEX y OPEX; Estos se obtienen del Análisis de los Costos de Ciclo de Vida: en el valor presente de los gastos anticipados durante la vida del sistema, ejemplo; gastos de repuestos, refacciones, operación y mantenimiento:

El costo del Ciclo de Vida, se calcula como:

$$LCC_{CAE} = \sum_{i=0}^n \frac{I_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{O_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{M_i \times (1 - A_i)}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{L_i \times (1 - A_i)}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{D_i}{(1+r)^{n+i}}$$

Dónde:

LCC_{CAE} : Costo de ciclo de vida representado en el valor presente neto

I: Costo de adquisición

O: Costo de operación

M: Costo de mantenimiento

A: Disponibilidad

L: Costo por fallas

D: Costo de Desincorporación.

Una vez clasificados los costos se trabaja a través de los métodos principales para el uso del flujo de dinero descontado:

- Tasa Interna de Retorno (TIR).
- Costo Anual Equivalente (CAE) “Opción para ciclos de vida diferentes, y opciones de costos sin ingresos”. Es la mejor opción de evaluación financiera.

En general, para nuestro proyecto de tesis utilizaremos el VAN, que consiste en traer todos los flujos de caja del futuro, al presente, y existen dos factores en la fórmula:

$$VAN_{OPEX} = \sum_{i=0}^{i=n} \frac{(0 + M)}{(1 + r)^n}, VAN_{CAPEX} = -I + \sum_{i=0}^{i=n} \frac{(V_R)}{(1 + r)^n}$$

$$CAE = [VPN] \times \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

3.3.5.2. Modelos de Reemplazo Óptimo

(Fuenmayor, 2014, pág. 1) Indica que es sumamente importante definir el intervalo óptimo de la frecuencia de mantenimiento o reemplazo de componentes.

En ese sentido surge la necesidad de realizar un estudio de reemplazo de un activo físico instalado en la planta, es importante conocer si será por un equipo igual o por uno diferente, ambos caminos exigen desarrollos matemáticos diferentes, en la figura N°11 se muestra de manera resumida la estructura para optimizar las decisiones de reemplazo de equipos.

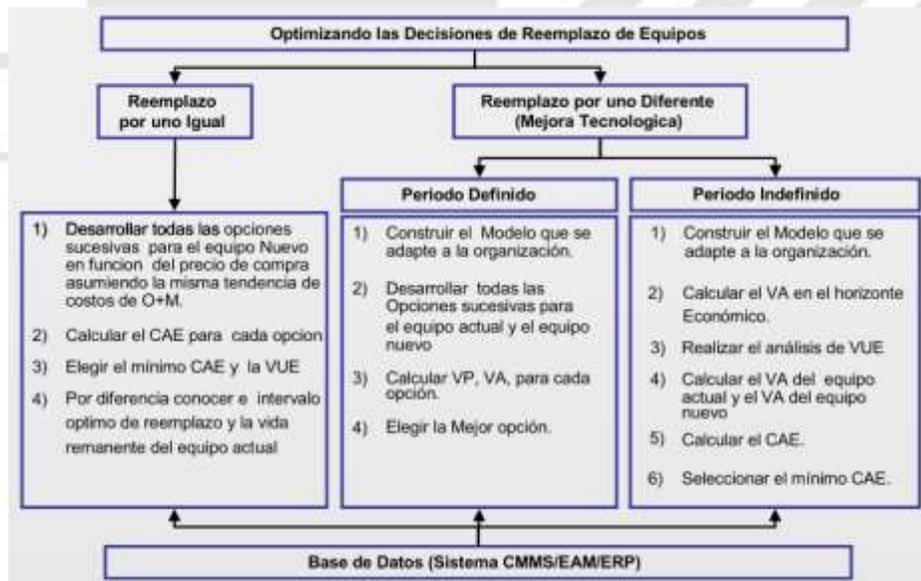


Figura N°11: Estructura para optimizar la decisión de reemplazo de activos.

Fuente: Recuperado de "Calculando la frecuencia óptima de mantenimiento o reemplazo preventivo", de (Fuenmayor, 2014, pág. 21)

3.3.6. Indicadores de gestión KPI

Cada empresa establece aquellos parámetros que va a medir de acuerdo a su propia realidad y al sector de la economía en cual desarrolla su actividad (Gonzalez, 1993, pág. 80) , para el caso específico del departamento de mantenimiento se pueden definir diversos indicadores como tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad entre muchos otros.

La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, Disciplinas Modernas Aplicada al Mantenimiento.

(Scientia Et Technica., 2006, pág. 158)Indica que:

En la fase de diseño de equipos o sistemas, se debe buscar el equilibrio entre la disponibilidad y el costo. Dependiendo de la naturaleza de requisitos del sistema, el diseñador puede alterar los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, de forma a disminuir el costo total del ciclo de vida. La tabla N°2 muestra que algunos equipos necesitan tener alta confiabilidad, mientras que otros necesitan tener alta disponibilidad o alta mantenibilidad.

Tabla N°2: Requisitos de algunos sistemas y enfoque de indicadores

	REQUISITOS	EJEMPLOS
1	Alta confiabilidad Poca disponibilidad	Generación de electricidad Tratamiento de agua
2	Alta disponibilidad	Refinerías de petróleo Acerías
3	Alta confiabilidad Alta mantenibilidad	Incineradores hospitalarios
4	Disponibilidad basada en buena práctica	Procesamiento por etapas
5	Alta disponibilidad Alta confiabilidad	Sistemas de emergencia Plataformas petroleras

Fuente: Tomado de “La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, Disciplinas Modernas Aplicadas al Mantenimiento” de (Scientia Et Technica., 2006, pág. 158)

3.3.6.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El tiempo medio entre fallos (inglés: Mean Time Between Failures, MTBF) es la media del tiempo de funcionamiento correcto de los equipos. (Department Of Defense , 2011, pág. 7) Lo define Como: “A basic measure of reliability for repairable items: The mean number of life units during which all parts of the time perform within their specified limits, during a particular measurement interval under stated conditions.”

El estimado para la distribución de Weibull viene dado por la siguiente fórmula:

$$MTBF = \eta \times \tau \times \left(1 + 1/\beta\right)$$

3.3.6.2. **Tiempo medio de reparación (MTTR)**

(Andrea Calvo & Sierra Fernández, 2010, pág. 11)Indican que:

El Tiempo de Reparación (inglés: Time To Repair, TTR) es el tiempo que se tarda en la reparación, sin contar las esperas. En servicios oficiales está, normalmente, tabulado (talleres de coches, tabulado y valorado) y en grandes empresas está estudiado y comprometido o acordado entre departamentos. Para el tiempo técnico de avería se precisa un tiempo técnico de reparación, que es aquel que contempla desde el momento en que se para el equipo hasta el instante en que se pone nuevamente en funcionamiento. El cálculo siguiendo la distribución de Weibull es representado por:

$$MTTR = Eta(\eta) * Exp(GAMMA.LN(1 + 1/\beta))$$

3.3.6.3. **Confiabilidad (R)**

(Scientia Et Technica., 2006, pág. 156)Indica que:

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

La confiabilidad de un equipo puede ser expresada a través de la siguiente expresión de Weibull.

$$R(t) = e^{\left(\frac{-t}{\eta}\right)^\beta}$$

3.3.6.4. **Disponibilidad (D)**

(Scientia Et Technica., 2006, pág. 157)Indica que:

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

Matemáticamente la disponibilidad $D(t)$, se puede definir como:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

3.3.6.5. **Mantenibilidad (M)**

En términos probabilísticas, (Monchy, 2009, pág. 75), define la mantenibilidad como “la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. O simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo”.

La mantenibilidad de un equipo puede ser expresada a través de la siguiente expresión de Weibull.

$$M(t) = e^{\left(\frac{-t}{\eta}\right)^\beta}$$

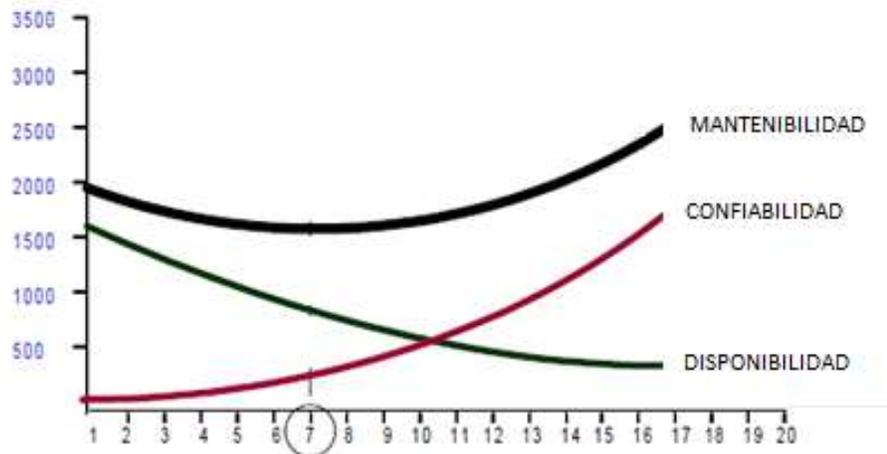


Figura N° 12 : Curvas típicas de indicadores de gestión.

Fuente: Tomado de “Aplicación de la Técnica- Optimización Costo-Riesgo” de (Duran, Perdomo, & Sojo, 2010, pág. 4)

3.4. Glosario de Términos

- OMS: Organización mundial de la salud.
- RIS: Reglamento de Infracciones y Sanciones de SUSALUD.
- ISIPRESS: Intendencia de supervisión de Instituciones Prestadoras de Servicio de Salud Publicas Privadas y Mixtas.
- TTF: “Time to failure” (Tiempo para la falla).
- DGIEM: Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento.
- IPRESS: Institución Prestadora de Servicio de Salud Públicas, Privadas y Mixtas.
- TTR: “Time to repair” (Tiempo para reparar).
- TPM: Mantenimiento productivo total.
- MTTR: Tiempo promedio para reparación.
- MTTF: Tiempo promedio para la falla.
- MTBF: “Mean time between failure” (Tiempo promedio entre fallas)
- TFS: Tiempo fuera de servicio
- TBF: Tiempo de buen funcionamiento
- A: “Availability” (disponibilidad)
- U: “Unavailability” (Indisponibilidad)

- RCM: “Reliability Centered Maintenance” (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)
- ACR: Análisis Causa Raíz
- AMFE: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos.
- TPM: Mantenimiento Productivo Total
- KPI: Indicadores Claves de Desempeño
- NPR: Número de Prioridad de Riesgo.
- R: Confiabilidad
- D: Disponibilidad
- M: Mantenibilidad
- MP: Mantenimiento Preventivo
- MC: Mantenimiento Correctivo
- AC: Análisis de Criticidad
- ISED: Instalación, Sistema, Equipo o Dispositivo.
- LCC: Costo de Ciclo de Vida
- VAN: Valor Actual Neto.
- TIR: Tasa Interna de Retorno.
- PRC: Periodo de Recupero del Capital.
- BC: Beneficio/ Costo.
- CAE: Costo Anual Equivalente.
- CAPEX: Costos de Capital.
- OPEX: Costos de Operación.
- RAM: Reliability Availability and Maintainability

IV. CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

Según (Roberto Hernández Sampieri, 2010) se necesita cuantificar los principales Indicadores de confiabilidad tales como: El tiempo promedio de reparación, tiempo promedio entre fallas, la confiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad y por último, se deberá calcular el impacto económico que genera.

4.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es del tipo no experimental, esto nos permitirá diagnosticar y evaluar el problema planteado con la finalidad de mejorar el sistema de gestión de mantenimiento existente (basado en métodos tradicionales). En esta investigación el fenómeno ya existe; lo que se debe medir es el valor de la variable dependiente con el propósito de demostrar la realización de una mejora en el sistema de gestión de mantenimiento del Centro Hospitalario custodiado por la empresa Chejampi Biomedical SAC.

4.2 Población y muestra

4.2.1 Descripción de la población

La población de la presente investigación está constituida por el número total de equipos médicos del UPSS Centro Quirúrgico (364), Para los Centros Hospitalarios atendidos por la empresa Chejampi Biomedical SAC durante los años 2009 – 2018, los mismos que se encuentran ubicados en la provincia de Lima departamento de Lima. En la tabla N°3 se encuentra el detalle de los mismos.

Tabla N°3: Equipamiento médico UPSS Centro Quirúrgico.

Descripción	Equipos Médicos del UPSS Centro Quirúrgico	Reporte de averías en el UPSS Centro Quirúrgico	Incumplimiento del plan de mantenimiento en el UPSS Centro Quirúrgico ²
Centro Hospitalario N°1	36	7	18.2%
Centro Hospitalario N°2	60	14	10.5%
Centro Hospitalario N°3	40	9	7.2%
Centro Hospitalario N°4	32	18	36.1%
Centro Hospitalario N°5	64	14	24.0%
Centro Hospitalario N°6	60	12	19.7%
Centro Hospitalario N°7	32	5	8.3%
Centro Hospitalario N°8	40	11	15.2%
Total	364	90	-

Fuente: Tomado de "Informe Corporativo de Calidad de servicio de Mantenimiento de Activos Médicos del IV -Trimestre." de (Chejampi Biomedical sac., 2018, pág. 3) (Ver Anexo H).

4.2.2 Selección de la muestra

Para la selección de la muestra se utilizó la metodología de muestreo aleatorio simple. Mediante el tipo de muestreo indicado se seleccionaron los 32 activos médicos del Centro Hospitalario N°4. Es de resaltar que la muestra tomada es la más representativa pues recoge todas las características relevantes de la población (alta concentración de fallas y alto porcentaje de incumplimiento en el plan de mantenimiento). En la tabla N°4 se indican los equipos médicos que componen dicha muestra.

² El incumplimiento del plan de mantenimiento se refiere a la cantidad de órdenes de mantenimiento que no fueron atendidas en un determinado equipo, ya sea por falta de personal, falta de repuesto, equipo no disponible, entre otros.

Tabla N°4: Equipamiento médico del Sistema UPSS Centro Quirúrgico.

SISTEMA	SUBSISTEMA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
UPSS CENTRO QUIRURGICO	SALA DE OPERACIONES	UCQ-01	Analizador de electrolíticos y gases de sangre portátil
		UCQ-02	Aspirador de secreciones rodables
		UCQ-03	Aspirador de secreciones rodables para red de vacío.
		UCQ-04	Bolsa perfurosa
		UCQ-05	Bomba de infusión de 2 canales
		UCQ-06	Bomba de infusión de jeringa
		UCQ-07	Calentador para sangre/soluciones
		UCQ-08	Cámara de Video IP móvil interior tipo domo.
		UCQ-09	Coche de paro equipado
		UCQ-10	Coche para intubación difícil
		UCQ-11	Electro bisturí monopolar/ Bipolar Digital
		UCQ-12	Estetoscopio adulto
		UCQ-13	Flujómetro con humidificador para red de oxígeno.
		UCQ-14	Lámpara de terapia rayos ultravioletas
		UCQ-15	Lámpara quirúrgica de techo de intensidad alta
		UCQ-16	Lámpara quirúrgica rozable
		UCQ-17	Laringoscopio adulto-pediátrico
		UCQ-18	Máquina de anestesia con monitor avanzado
		UCQ-19	Mesa angular de acero inoxidable para instrumental
		UCQ-20	Mesa de operaciones Hidráulica/ Eléctrica
		UCQ-21	Monitor del estado hipnótico
		UCQ-22	Negatoscopio de 2 campos
		UCQ-23	Porta suero Metálico rodable
		UCQ-24	Tensiómetro aneroide rodable adulto
		UCQ-25	Torre de video cirugía laparoscopia
		UCQ-26	Unidad de aspiraciones para red de vacío
		UCQ-27	Ventilador Mecánico adulto- pediátrico-neonatal
		UCQ-28	Reloj cronometro de pared
		UCQ-29	Monitor de funciones Vitales
		UCQ-30	Calentador de manta.
		UCQ-31	Calentador de fluidos
		UCQ-32	Cama Electromecánica.
	SALA DE RECUPERACION POSANESTESICO		

Fuente: Fuente: Recuperado de "Norma Técnica de Salud - Infraestructura y Equipamiento de los Establecimiento de Salud de Segundo Nivel de Atención", de (Ministerio de Salud del Peru., 2014, p. 272)

4.3 Técnicas de Recolección de datos

4.3.1 Documentos y registros

Los datos de registros históricos del Centro Hospitalario en estudio la cual data desde el año 2009 hasta el año 2018 (Ver Anexo A), los reportes de control de calidad, los registros de fallas no planificadas, tiempos de reparación y tiempo entre fallas han servido como datos de entrada para el cálculo de la distribución de Weibull.

4.3.2 Entrevista dirigida al personal técnicos

Para nuestra investigación se ha conformado un Elaboración propia de siete profesionales los cuales se encuentran detallados en la tabla N°5.

Con este Elaboración propia se desarrollarán las diferentes herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad tales como: Análisis de Criticidad, Modos de falla, Análisis Causa raíz, del mismo modo definiremos las posibles medidas de solución de los problemas detectados.

Tabla N°5: Equipo de investigación.

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN	PROFESIÓN	FUNCIÓN	EMPRESA
1.- Juan Alberto Jave Cristóbal	Tec. Electrónico	Tec. Mantto. Preventivo de activos médicos	Chejampi Biomedical SAC
2.- Cristian Jara	Ing. Electrónico	Jefe de Mantenimiento	Chejampi Biomedical SAC
3.- Livinston Rojas Ancco	Ing. Electrónico	Jefe de Mantenimiento y Activos Médicos.	Centro Hospitalario
4.- Celia Castro Orihuela	Tec. Enfermería	Jefa de Sala de Operaciones.	Centro Hospitalario
5.-Gloria Flores García	Tec. Electrotecnia	Tec. Instrumentista Sala de Operaciones	Centro Hospitalario
6.-Jose Inga Cerrón	Ing. Industrial	Investigador Principal	-
7.-Justo Choccelahua Torres	Ing. Industrial	Investigador Principal	-

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Observaciones en campo

Se han realizado visitas al área de mantenimiento y sala de operaciones para corroborar la información recibida de la compañía, estas observaciones comprenden todo el proceso del UPSS Centro Quirúrgico.

4.4 Definición operacional de variables

Las variables operacionales relacionadas a la presente investigación son indicadas a continuación:

1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

1.1 Tiempo para reparar (TTR). - Es el tiempo que demora el área de mantenimiento en reparar el equipamiento médico después que este ha fallado.

1.2 Tiempo entre fallas (TBF). - Es el tiempo que existe entre falla y falla de un equipo médico.

2. Sistema de Gestión de Mantenimiento.

2.1 El tiempo medio de reparación (MTTR). - Es el tiempo promedio que tarda un equipo que ha fallado, en volver a estar en condiciones operativas.

2.2 El tiempo medio entre fallas (MTBF). -Es el tiempo promedio que ha transcurrido entre una falla y la siguiente también considera como el tiempo promedio que algo funciona hasta que falla y necesita ser reparado (otra vez).

2.3 Confiabilidad (R). - Capacidad de un equipo médico para realizar una determinada función bajo un determinado periodo de tiempo establecido.

2.4 Disponibilidad (D). - Es la capacidad que tiene un equipo médico para estar listo para su uso durante un determinado periodo de tiempo.

2.5 Mantenibilidad (M). - Capacidad de que tiene un equipo para poder ser mantenido (restaurado) en un tiempo establecido.

4.4.1 Variable Independiente o de entrada

La variable independiente viene constituida por el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y a su vez esta variable está constituida por dos (02) dimensiones de la variable las cuales son el tiempo para reparar (TTR) y el tiempo entre fallas (TBF).

4.4.2 Variables Dependientes o de salida

La variable dependiente está representada por el sistema de gestión de mantenimiento que a su vez está constituido por cinco (05) dimensiones de la variable y vienen representadas por el tiempo medio entre fallas (MTTR), el tiempo medio de reparación (MTBF), La confiabilidad (R), la disponibilidad (D) y la mantenibilidad (M), todos estos parámetros dependen del Tiempo para reparar (TTR) y Tiempo entre fallas (TBF).

En ese sentido si realizamos modificaciones sobre la variable dependiente (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), obtendremos cambios en el sistema de gestión de mantenimiento.

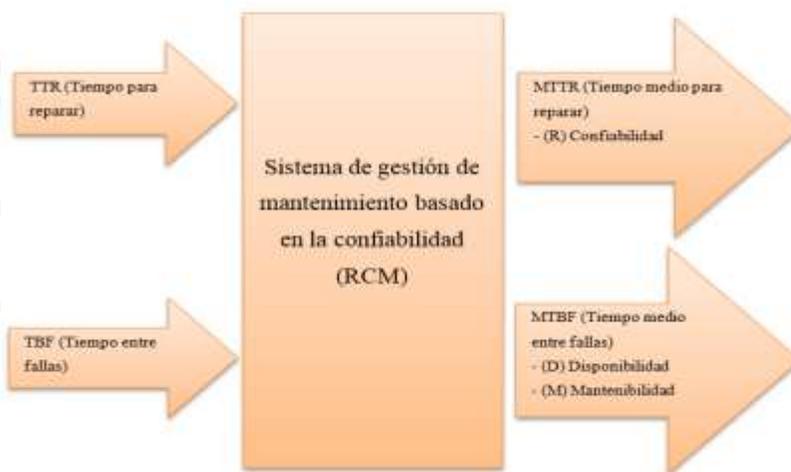


Figura N°13: Diagrama de variables de entradas y salidas
Fuente: Elaboración propia

4.5 Programas Informáticos para el procesamiento de la información

Para el desarrollo de nuestra investigación haremos uso de programas (Software) aplicados al análisis de datos de mantenimiento. Por la naturaleza complicada de los datos y modelos utilizados necesitábamos utilizar programas de uso amigable y que cuenten con módulos de confiabilidad por tal razón hemos considerado el uso de los siguientes programas: MINITAB, RAPTOR y ARENA, sin embargo, en el mercado existen infinidad de programas que pueden ser aplicados al área de confiabilidad.

(Escobar R, Villa D, & Yañez C, 2013, pág. 18)Indica que:

Los métodos estadísticos para el análisis apropiado de la confiabilidad no están tan bien desarrollados. Sin embargo, existen programas (Software) con capacidad para el análisis de datos de confiabilidad tales como: JMPTM, SAS, MINITAB, Reliasoft, RAPTOR, CARA-Faul, entre otros.

Bajo este contexto se justifica el uso de los aplicativos estadísticos en nuestra investigación y son detallados a continuación:

- a) MINITAB (www.minitab.com): Es un software diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina lo amigable del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos. Con módulos dedicados para el análisis de datos de confiabilidad y tasa de fallos.

Cabe aclarar que en nuestra investigación el software MINITAB se ha utilizado para determinar los parámetros de la distribución de Weibull usando como información o variables de entrada los Tiempos Para Reparar (TTR) y Tiempo Entre Fallas (TBF).

- b) RAPTOR. (www.arinc.com): Raptor es una herramienta que simula las operaciones de cualquier sistema. Los algoritmos sofisticados de la simulación de Monte Carlo se utilizan para alcanzar estos resultados.

En nuestra investigación el software Raptor se ha utilizado para simular nuestros principales indicadores de confiabilidad, Para ellos usamos como variables de entrada los parámetros de la distribución de Weibull determinados con el software MINITAB y obteniendo como variables de salida los KPIS (MTTR, MBTF, Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad).

- c) ARENA. (www.arenasimulation.com): Arena es un software de simulación y automatización de eventos discretos.

Arena nos permitirá simular eventos de mantenimiento asociados al equipamiento médico de la empresa Chejampi Biomedical SAC, a fin de demostrar el incremento de la disponibilidad y la reducción de costos de mantenimiento que generarán la implementación del nuevo sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad.

- d) CRYSTAL BALL. (<https://software.com.ar/p/crystal-ball>): Oracle Crystal Ball es una suite de aplicaciones basada en hojas de cálculo, líder para modelaje predictivo, previsión, simulación y optimización.

Crystal Ball le da una visión sin precedentes sobre los factores críticos que afectan el riesgo de su análisis, puede tomar las decisiones correctas y formular tácticas para alcanzar sus objetivos y tener ventajas competitivas, incluso en las condiciones de mercado más inciertas.

CAPÍTULO V: DESARROLLO Y ANÁLISIS TÉCNICO

5.1 Situación Actual

El Ministerio de salud a través de la Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento DGIEM y La normativa técnica de salud (N°110-MINSA/DIGIEM-V.01) que hace referencia al mantenimiento en una Institución Prestadora de Servicio de Salud Pública, Privada y Mixta (IPRESS), indica que todo IPRESS debe contar con un área de mantenimiento, el mismo que puede ser desarrollado por la misma IPRESS hospital o por una empresa contratista.

El centro hospitalario tomado como referencia y que se encuentra bajo estudio cuenta con un sistema de gestión de mantenimiento que no puede proporcionar oportuna y eficientemente los servicios de mantenimiento al equipamiento médico del centro hospitalario.

El tipo de mantenimiento que se viene utilizando en el centro hospitalario es del tipo preventivo. Dicha metodología ha presentado inconvenientes al momento de ejecutar las tareas programadas pues cada vez que se quiere intervenir sobre algún equipamiento médico, estos se encuentran en funcionamiento obligando de esta forma a postergar y en algunas oportunidades cancelar la tarea de mantenimiento.

Ante estos eventos existen equipos con un alto potencial de fallo (debido a la falta de mantenimiento oportuno), generándose la posibilidad de que un equipo falle en cualquier momento, poniendo en riesgo la salud del paciente. Estos hechos generan malestar e insatisfacción en el cliente, así como la posibilidad de ser multado por el ente supervisor (Intendencia de supervisión de Instituciones Prestadoras de Servicio de Salud Publicas

Privadas y Mixtas -ISIPRESS) por incumplir con la normativa vigente (Reglamento de Infracciones y Sanciones de SUSALUD - RIS N° 031- 2014-SA).

Del mismo modo se pudo evidenciar falencias en el área de logística del centro hospitalario, estas falencias ocasionan demoras al momento de realizar mantenimiento al equipamiento médico.

En ese sentido surge la necesidad de mejorar el sistema de gestión de mantenimiento que viene siendo realizado por la empresa contratista Chejampi Biomedical SAC; con la finalidad de reducir la tasa de fallas del equipamiento médico empleado.

5.1.1 Descripción de la empresa Chejampi Biomedical SAC

Chejampi Biomedical SAC. Es una empresa de servicios destinada a dar soluciones generales y específicas en equipamiento biomédico, aportando soluciones integrales de mantenimiento con sede en el centro de la ciudad de Lima, con oficina comercial en Av. Los Olivos Mz. A Lote. 15 Villa El Amauta San Martín de Porres, desde donde atiende al mercado nacional y cuenta dentro de su cartera de clientes a los principales centros hospitalarios de la ciudad de Lima entre ellos podemos mencionar:

Clínica Montefiori, Clínica Vesalio, Instituto de Salud del Niño, Clínica Cayetano Heredia, Hospital Cayetano Heredia, Policlínico Peruano Japonés, Clínica Estela Maris y Hospital Nacional Sergio Bernal.

5.1.2 Aspectos generales del Centro Hospitalario en investigación

El Centro Hospitalario en investigación, tiene un terreno de 4700 m² y un área construida de 23 500 m², cuenta con un área de consultorios externos y un área de hospitalización cuenta con 48 consultorios y aproximadamente 70 habitaciones para hospitalización, así como diversos equipos médicos, biomédicos y electromecánicos.

Cabe mencionar que dicho Centro Hospitalario está clasificado dentro del segundo nivel de atención, sexto nivel de complejidad con la Categoría II-2 de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica de Salud “Categorías de Establecimientos del Sector

Salud”. La misma que corresponde a los Hospitales y Clínicas con mayor especialización tal y como se indica en la Tabla N°6.

Tabla N° 6: Categorías de establecimiento del sector salud.

Nivel de Atención	Niveles de Complejidad	Categorías de Establecimiento de Salud	
		Atención General	Atención Especializada
Primer nivel de atención	1er Nivel de complejidad	I-1	.-
	2do Nivel de complejidad	I-2	.-
	3er Nivel de complejidad	I-3	.-
	4to Nivel de complejidad	I-4	.-
Segundo nivel de Atención	5to Nivel de complejidad	II-1	III-E
	6to Nivel de complejidad	II-2	.-
Tercer nivel de Atención	7mo Nivel de complejidad	III-1	III-E
	8vo Nivel de complejidad	.-	III-2

Fuente: Recuperado de “Norma técnica de salud para Infraestructura y Equipamiento de Establecimientos de Salud 1-II, 2-II y 3-III”, de Minsa, 2013, P10.

Del mismo modo el Centro Hospitalario cuenta con todos los servicios y actividades requeridas para el segundo nivel de atención, categoría II-2. De acuerdo a lo indicado en las Tablas N°7 y N°8.

Tabla N°7: UPSS y Actividades relacionadas de Atención Directa

	PRIMER NIVEL DE ATENCIÓN con población asignada				SEGUNDO NIVEL DE ATENCIÓN			TERCER NIVEL DE ATENCIÓN		
	I-1	I-2	I-3	I-4	atención general		atención especializada	III-1	atención especializada	
					II-1	II-2	II-E		III-E	III-2
UPSS ACTIVIDADES DE ATENCIÓN DIRECTA OBLIGATORIAS	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa	UPSS Consulta externa
				Internamiento	UPSS Hospitalización	UPSS Hospitalización	UPSS Hospitalización	UPSS Hospitalización	UPSS Hospitalización	UPSS Hospitalización
	Atención de urgencias y emergencias				UPSS Emergencia	UPSS Emergencia	UPSS Emergencia	UPSS Emergencia	UPSS Emergencia	UPSS Emergencia
	Atención de Parto				UPSS Centro quirúrgico	UPSS Centro quirúrgico	UPSS Centro quirúrgico	UPSS Centro quirúrgico	UPSS Centro quirúrgico	UPSS Centro quirúrgico
				Atención de Gestante	UPSS Unidad de cuidados Intensivos					

Fuente: Tomado de "Guía técnica para la categorización de establecimientos del sector de salud", de (Ministerio de salud del Peru., 2014, p. 16)

Tabla N°8: UPSS y Actividades relacionadas de Atención de Soporte Obligatorias

	PRIMER NIVEL DE ATENCIÓN con población asignada				SEGUNDO NIVEL DE ATENCIÓN			TERCER NIVEL DE ATENCIÓN		
	I-1	I-2	I-3	I-4	atención general		atención especializada	atención general	atención especializada	
					II-1	II-2	II-E		III-1	III-E
UPSS ACTIVIDADES DE ATENCIÓN DE SOPORTE OBLIGATORIAS	Atención con medicamentos			UPSS Farmacia	UPSS Farmacia	UPSS Farmacia	UPSS Farmacia	UPSS Farmacia	UPSS Farmacia	UPSS Farmacia
	Toma de muestra de sangre o fluidos corporales		UPSS Patología Clínica	UPSS Patología Clínica Ecografía Radio Grafía	UPSS Patología Clínica UPSS Diagnóstico por Imágenes					
	Nutrición Integral			UPSS Nutrición y Dietética	UPSS Nutrición y Dietética	UPSS Nutrición y Dietética	UPSS Nutrición y Dietética	UPSS Nutrición y Dietética	UPSS Nutrición y Dietética	UPSS Nutrición y Dietética
	Rehabilitación Basada en la Comunidad				UPSS Medicina y Rehabilitación	UPSS Medicina y Rehabilitación		UPSS Medicina y Rehabilitación		UPSS Medicina y Rehabilitación
	Desinfección y esterilización				UPSS Central de Esterilización	UPSS Central de Esterilización		UPSS Central de Esterilización		UPSS Central de Esterilización
					UPSS HEMOTERAPIA Y BANCO DE SANGRE	UPSS HEMOTERAPIA Y BANCO DE SANGRE		UPSS HEMOTERAPIA Y BANCO DE SANGRE		UPSS HEMOTERAPIA Y BANCO DE SANGRE
					Diálisis	Diálisis		UPSS Hemodiálisis		UPSS Hemodiálisis
				Anatomía patológica	Anatomía patológica		Anatomía patológica		Anatomía patológica	

Fuente: Recuperado de “Guía técnica para la Categorización de Establecimientos del Sector de Salud”, de (Ministerio de salud del Peru., 2014, p. 16)

5.1.3 Ambientes Prestacionales del Centro Hospitalario

De acuerdo a la clasificación y a los requerimientos de atención del Centro Hospitalario, se procede a realizar el desglose de todos los Sistemas (UPSS) y Sub Sistemas con los que cuenta nuestro Centro Hospitalario.

Tabla N°9: Ambientes Prestacionales del Centro Hospitalario - Atención directa.

ACTIVIDADES	SISTEMAS O UPSS	INSTALACIONES O AMBIENTES PRESTACIONALES	EQUIPAMIENTO	CANTIDAD	
DIRECTA	UPSS externa	consultas Consultorios Médicos de toda la especialidad	Equipamiento Médico Consultas Externas.	48	
	UPSS Emergencia		Tópico de inyectables y nebulizaciones.		30
			Tópico de urgencias y emergencias.		
			Sala de tele emergencias	Equipamiento Médico de UPPS emergencia.	
			Sala de observación de emergencia		
			Unidad de vigilancia intensiva		
	UPSS Obstétrico	centro	Unidad de shock Trauma y rehabilitaciones		20
			Sala de dilatación		
			Sala de parto	Equipamiento Médico de UPPS Centro Obstétrico.	
			Sala multifuncional con acompañamiento familiar.		
			Sala de puerperio inmediato		
	UPSS Quirúrgico	Centro	Sala multifuncional para gestantes aislados		32
			Sala de operaciones	Equipamiento Médico de UPPS quirúrgico	
	UPSS Hospitalización		Sala de recuperación post anestesia.		10
			Sala de hospitalización	Equipamiento Médico de UPPS Hospitalización.	
UPSS Cuidados Intensivos	Unidad de	Tópico de procedimientos		22	
		UCI General.	Equipamiento Médico de UPPS UCI		
UPSS Esterilización	Central de	UCI Intermedio General.		6	
		UCI Intermedio Neonatal.			
		Soporte nutricional parenteral total			
UPSS Esterilización	Central de	Desinfección de alto nivel DAN	Equipamiento Médico de UPPS Central de Esterilización	6	
		Esterilización en alta temperatura			
		Esterilización en baja temperatura			

Fuente: Recuperado de "Norma técnica de salud para Infraestructura y Equipamiento de Establecimientos de Salud 1-II, 2-II y 3", de (Ministerio de Salud del Perú. (N°110-MINSA/DIGIEM-V.01), 2013, p. 14),

Tabla N°10: Ambientes Prestacionales del Centro Hospitalario - Atención de Soporte

ACTIVIDADES	SISTEMAS O UPSS	INSTALACIONES O PRESTACIONALES	AMBIENTES	EQUIPAMIENTO	CANTIDAD	
SOPORTE	UPSS Farmacia	Atención en farmacia Clínica		Equipamiento Médico de UPSS Farmacia	7	
		Atención en farmacotecnia				
	UPSS Patología clínica		Dispensación de medicamentos, dispositivos médicos y productos sanitarios		Equipamiento de UPSS Patología clínica	10
			Área de toma de muestras			
			Laboratorio de hematología			
			Laboratorio de bioquímica			
	UPSS Nutrición		Laboratorio de inmunología		Equipamiento de UPSS Nutrición	6
			Laboratorio de microbiología.			
			Oficina de coordinación nutricional			
			Área preparación y cocción de alimentos			
	UPSS Diagnóstico por imágenes		Área central de distribución de alimentos preparados		Equipamiento de UPSS Nutrición	6
			Área de preparación de formulas			
			Área esterilización y distribución			
			Radiología por imágenes			
	UPSS medicina de rehabilitación		Sala de ecografías		Equipamiento Médico de UPSS Diagnóstico por imágenes	4
			Sala de mamografías			
			Consultorio para medicina de rehabilitación			
			Gimnasio para adultos			
			Sala de fisioterapia			
			Sala de hidroterapia			
UPSS Centro de hemoterapia y banco de sangre		Sala de terapia ocupacional		Equipamiento Médico de UPSS medicina de rehabilitación	6	
		Sala de procedimientos médicos				
		Recepción de unidades de sangre y hemo componentes				
		Laboratorio de inmuno hematología				
		Control de calidad				
		Almacenamiento de unidades de sangre y hemo componentes.				
		Esterilización de productos biológicos				
		Toma de muestra de donantes				
UPSS Anatomía Patológica		Sala de monitoreo post donación		Equipamiento Médico de UPSS Centro de hemoterapia y banco de sangre	5	
		Sala de aféresis				
		Laboratorio de inmuno serología y tamizaje.				
		Diálisis				
UPSS Anatomía Patológica		Área de diálisis peritoneal		Equipamiento Médico de UPSS Diálisis	1	
		Área de toma de muestras.				
		Recepción y almacenamiento de muestras				
		Laboratorio de fitopatología				
		Sala de microscopia y archivo de muestras				
UPSS Anatomía Patológica		Sala de microscopia		Equipamiento Médico de UPSS Anatomía Patológica.	5	
		Sala de necropsias				

Fuente: Recuperado de "Norma técnica de salud para Infraestructura y Equipamiento de Establecimientos de Salud 1-II, 2-II y 3", de (Ministerio de Salud del Perú. (N°110-MINSA/DIGIEM-V.01), 2013, p. 14)

5.1.4 Plan de Mantenimiento Anual

Como parte del sistema de gestión de mantenimiento desarrollado por la empresa Chejampi Biomedical SAC, se pudo detectar que existe un alto porcentaje de planes de mantenimiento que no fueron desarrollados en el segundo trimestre del año 2018 (ver Figura N°14), trayendo como consecuencia directa interrupciones que afectan a los usuarios finales médicos, enfermeros, técnicos y clientes (ver Figura N°15).

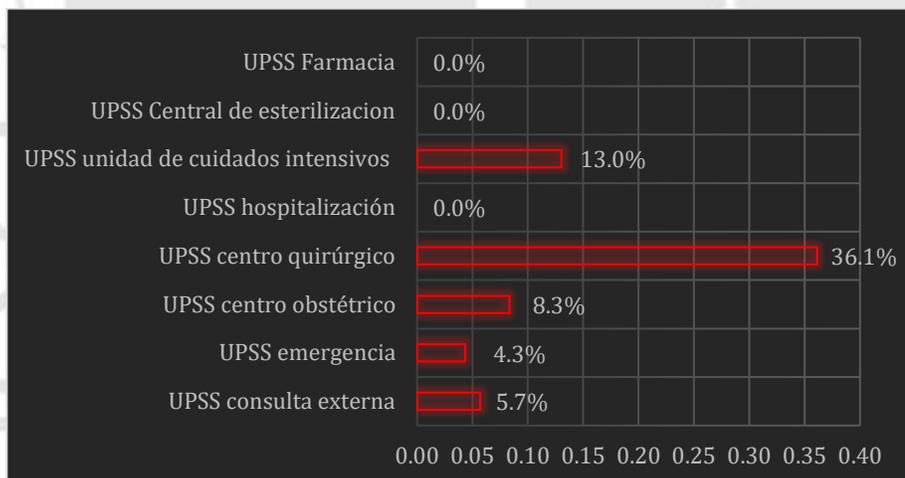


Figura N°14: Reporte de Incumplimiento Plan Mantenimiento III Trimestre 2018.
Fuente: Tomado de "Informe de Control de calidad", de (Chejampi Biomedical sac., 2018, p. 4)

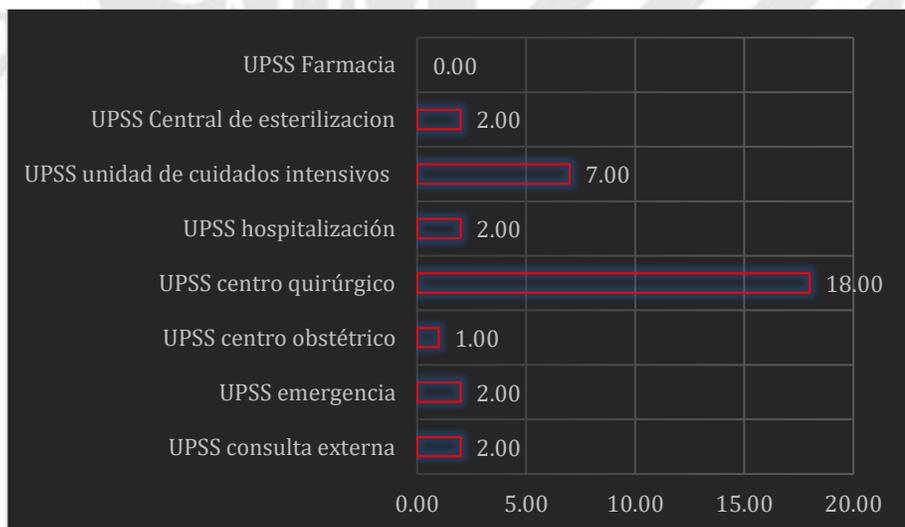


Figura N°15: Reporte de averías de equipamiento biomédico III Trimestre 2018.
Fuente: Tomado de "Informe de Control de calidad", de (Chejampi Biomedical sac., 2018, p. 4)

Según los reportes establecidos por la empresa Chejampi Biomedical SAC, observamos que el sistema UPSS Centro Quirúrgico cuenta con mayor porcentaje

de incumplimiento y mayor reporte de averías. Es por ese motivo que el UPSS Centro Quirúrgico será considerada como la muestra más representativa.

5.2 Análisis de criticidad (AC)

El Sistema UPSS Centro Quirúrgico está conformado por dos sub sistemas, sala de operaciones y Sala de recuperación post anestesia. Para efecto de los cálculos asociados al análisis de criticidad se plantea evaluar el sub sistema sala de operaciones por presentar mayor porcentaje de incumplimiento en planes de mantenimiento y mayor frecuencia de reportes por avería, en la tabla N°11 se indican los equipos que conforman dicho sistema.

Tabla N° 11: Equipamiento médico del Sistema UPSS Centro Quirúrgico.

SISTEMA	SUBSISTEMA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
UPSS CENTRO QUIRURGICO	SALA DE OPERACIONES	UCQ-01	Analizador de electrolíticos y gases de sangre portátil
		UCQ-02	Aspirador de secreciones rodables
		UCQ-03	Aspirador de secreciones rodables para red de vacío.
		UCQ-04	Bolsa perfurosa
		UCQ-05	Bomba de infusión de 2 canales
		UCQ-06	Bomba de infusión de jeringa
		UCQ-07	Calentador para sangre/soluciones
		UCQ-08	Cámara de Video IP móvil interior tipo domo.
		UCQ-09	Coche de paro equipado
		UCQ-10	Coche para intubación difícil
		UCQ-11	Electro bisturí monopolar/ Bipolar Digital
		UCQ-12	Estetoscopio adulto
		UCQ-13	Flujómetro con humidificador para red de oxígeno.
		UCQ-14	Lámpara de terapia rayos ultravioletas
		UCQ-15	Lámpara quirúrgica de techo de intensidad alta
		UCQ-16	Lámpara quirúrgica rozable
		UCQ-17	Laringoscopio adulto-pediátrico
		UCQ-18	Máquina de anestesia con monitor avanzado
		UCQ-19	Mesa angular de acero inoxidable para instrumental
		UCQ-20	Mesa de operaciones Hidráulica/ Eléctrica
		UCQ-21	Monitor del estado hipnótico
		UCQ-22	Negatoscopio de 2 campos
		UCQ-23	Porta suero Metálico rodable
		UCQ-24	Tensiómetro aneroide rodable adulto
		UCQ-25	Torre de video cirugía laparoscopia
		UCQ-26	Unidad de aspiraciones para red de vacío
		UCQ-27	Ventilador Mecánico adulto- pediátrico-neonatal
		UCQ-28	Reloj cronometro de pared
		UCQ-29	Monitor de funciones Vitales
		UCQ-30	Calentador de manta.
		UCQ-31	Calentador de fluidos
		UCQ-32	Cama Electromecánica.
	SALA DE RECUPERACION POSANESTESICO		

Fuente: Recuperado de "Norma Técnica de Salud - Infraestructura y Equipamiento de los Establecimiento de Salud de Segundo Nivel de Atención", de (Ministerio de Salud del Peru., 2014, p. 272)

5.2.1 Criterios para estimación de frecuencia de fallas

Para estimar la frecuencia de ocurrencia de una falla utilizaremos una valoración que estará de acuerdo al Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF). En la tabla N°12 se indican los criterios a considerar para realizar la estimación de la frecuencia de falla.

Tabla N°12: Criterio para estimar la frecuencia de falla

VALORACIÓN	MTBF EN DÍAS	NUMERO DE FALLAS POR DÍAS	INTERPRETACIÓN
5	MTBF<10	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 7.5 días.
4	10<MTBF<30	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra varias fallas en 10 días, pero es poco probable que ocurra en 7,5 días.
3	30<MTBF<50	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurra varias fallas en 10 días, pero es poco probable que ocurra en 15 días.
2	50<MTBF<100	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es probable que ocurra varias fallas en 30 días, pero poco probable que ocurra en 15 días.
1	MTBF \geq 100	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurra en 30 días.

Fuente: Tomado como modelo de “Guía de Sistema de Confiabilidad Operacional – Metodología de Análisis Criticidad”, de (Universidad Pemex., 2007, pág. 10).

5.2.2 Criterios para estimación de consecuencias

Para estimar las consecuencias de las fallas vamos a considerar rangos y criterios preestablecidos. En la tabla N°13 se exponen los criterios de evaluación para la valoración de las consecuencias de fallas.

Tabla N°13: Categorías o factores de impacto de la falla.

VALORACIÓN	DAÑOS PERSONAL	AL	EFFECTO EN EL PACIENTE	IMPACTO EN EL AMBIENTE	PERDIDA DE PRODUCCIÓN (IP)	DAÑOS A LA INSTALACIÓN (DI)	
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	o	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad	o	Daños irreversibles al ambiente y que vicien regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de S/. 50 000	Mayor de S/. 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.	o	Daños irreversibles al ambiente pero que violen regulaciones y leyes ambientales	De S/.15 000 a S/. 50 000	De S/.15 000 a S/. 50 001
3	Daños o enfermedades severas de Averías personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	o	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.		Daños ambientales regables sin violación de leyes y regulaciones la restauración puede ser acumulable.	De S/.5 000 a S/. 15 000	De S/.5 000 a S/. 15 001
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.		Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	o	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones	De S/.500 a S/. 5 000	De S/.500 a S/. 5 001
1	Sin impacto en el personal de la planta		Sin efecto en la población		sin daños ambientales ni violaciones de leyes y regulaciones.	Hasta S/. 500	Hasta S/. 501

Fuente: Tomado como modelo de "Guía de Sistema de Confiabilidad Operacional – Metodología de Análisis Criticidad", de (Universidad Pemex., 2007, pág. 11)

5.2.3 Resultados del análisis de criticidad

En la tabla N°14 se muestran los resultados del análisis de criticidad aplicados a los equipos pertenecientes al Sub Sistema Sala de Operaciones, dicho resultado se obtiene al realizar la tabulación entre los impactos de falla y la frecuencia de falla.

Por tanto, la Criticidad se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Criticidad} = (IP + DI + DP + EP + IA) \times \text{Frecuencia}$$

Tabla N°14: Criticidad de equipamiento médico UPSS Centro Quirúrgico.

Severidad del sistema	Código	Perdida de producción (IP)	Daños a la instalación (DI)	Daños al personal (DP)	Impacto al paciente (EP)	Impacto ambiente (IA)	Frecuencia de Fallas	Criticidad	
Aspirador de secreciones rodable	UCQ-02	1	1	2	2	1	1	7	(B)
Aspirador de secreciones rodable para red de vacío	UCQ-03	2	2	2	3	1	1	10	(B)
Bolsa perfurosa	UCQ-04	1	2	2	2	1	1	8	(B)
Electro bisturí monopolar/ Bipolar Digital	UCQ-11	4	5	2	4	1	2	32	(M)
Estetoscopio adulto	UCQ-12	1	3	2	5	1	1	12	(B)
Lámpara quirúrgica de techo de intensidad alta	UCQ-15	1	2	2	3	1	1	9	(B)
Lámpara quirúrgica rodable	UCQ-16	4	4	2	4	1	2	30	(M)
Laringoscopio adulto-pediátrico	UCQ-17	1	3	2	3	1	1	10	(B)
Máquina de anestesia con monitor avanzado	UCQ-18	5	4	2	5	1	4	68	(A)
Ventilador Mecánico adulto- pediátrico-neonatal	UCQ-27	4	4	2	5	1	3	48	(M)

Fuente: Tomado como modelo de “Guía de Sistema de Confiabilidad Operacional – Metodología de Análisis Criticidad”, de (Universidad Pemex., 2007, pág. 19)

En el Figura N°16 se muestra la matriz de criticidad correspondiente a los resultados mostrados en la tabla N°14. En dicho Figura podemos apreciar los equipos críticos, semi críticos y no críticos.

Los valores de criticidad se obtienen luego de multiplicar la valoración del impacto (valores del 1 al 25) con la valoración de la frecuencia (valores del 1 al 5)



Fuente: Tomado como modelo de “Guía de Sistema de Confiabilidad Operacional – Metodología de Análisis Criticidad”, de (Universidad Pemex., 2007, pág. 12)

De la gráfica anterior podemos deducir que el único equipamiento médico que nos sale con un nivel de criticidad alto es el equipo UCQ-18 (Máquina de anestesia con monitor avanzado). En ese sentido para mitigar los impactos y frecuencia de falla asociados al equipo UCQ-18 procederemos a desarrollar estrategias de control basados en aplicaciones del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

5.3 Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE)

El análisis de modos de falla y sus efectos nos ayudará a identificar problemas potenciales y sus posibles efectos en el sub sistema (sala de operaciones). Previo al desarrollo del

análisis en el equipo UCQ-18, procederemos a realizar una breve descripción del equipo crítico a analizar.

5.3.1 Descripción del equipo crítico

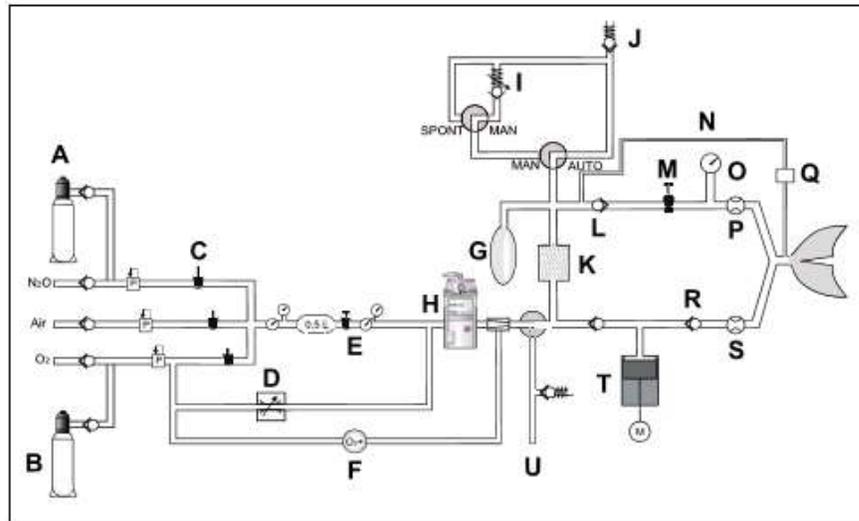
Una máquina de anestesia es un equipo compuesto por elementos mecánicos, neumáticos y electrónicos, cuya finalidad es administrar de manera segura y por vía pulmonar, con ventilación espontánea o mecánica, gases como el oxígeno, el óxido nitroso, el aire y vapores anestésicos que permiten realizar una anestesia adecuada, monitorizando además todos los signos vitales del paciente.

En el Figura N°17, se representa una máquina de anestesia, cuyo abastecimiento es normalmente realizado a través de la red del centro hospitalario (presión de 50 psi), o en caso de fallar éste, se encuentran cilindros de respaldo, cuya presión interna es de 2000 psi, para el oxígeno (B) y 1000 psi para el óxido nitroso (A). Por ende, cuando se abastecen de los cilindros es necesario tener un regulador (C) que disminuya la presión a 50 psi, condición normal de operación interna de la máquina.

Cuando la presión de oxígeno disminuye a menos de 30 psi, existe un sistema de seguridad el cual consiste en una válvula de seguridad (F) que cierra el flujo de óxido nitroso. Posteriormente se encuentran los flujómetros (E), estos miden la cantidad de gas que está circulando y a su vez, separan el circuito de media presión con el de baja presión, gracias a sus válvulas de control. Estos se comunican con los vaporizadores (H), que mantienen una volatilización regulada de los anestésicos, el producto entregado es una mezcla de gases anestésicos, en condiciones apropiadas para ingresar al paciente.

Estos gases al momento de ser exhalados, pasan al ventilador de bomba de pistón (T), o a la bolsa de reserva (G). En cualquiera de los dos casos, si existe un exceso del gas expirado, es necesario expulsarlo a la atmósfera. Este es el objetivo de la válvula APL(I) (límite de presión ajustable), o también llamada de sobrepresión. Posteriormente pasa al canister o absorvedor (K), que contiene cal sodada, la cual

absorbe el CO₂ y lo convierte en sólido, con el objetivo de obligar a los gases a recircular, comenzando así un nuevo ciclo.



- A Botella de N₂O
- B Botella de O₂
- C Válvulas de entrada de gas
- D Dosificación de emergencia de O₂
- E Control de flujo
- F Lavado (flush) de O₂
- G Bolsa reservoria
- H Vapor
- I Válvula APL
- J Sistema de recepción de gas anestésico (AGS)
- K Absorbedor
- L Válvula esp.
- M **PEEP/PMAX**
- N Línea de muestreo
- O Sensor **PAW**
- P Sensor de flujo esp.
- Q Medición de gas
- R Válvula insp.
- S Sensor de flujo insp.
- T Ventilador de bomba de pistón
- U Salida ext. de gas fresco (opcional)

Figura N°16: Esquema de componentes de máquina de anestesia

Fuente: Tomado de "Guía de Sistema de Confiabilidad Operacional – Metodología de Análisis Criticidad", de (Drager, 2015, pág. 27)

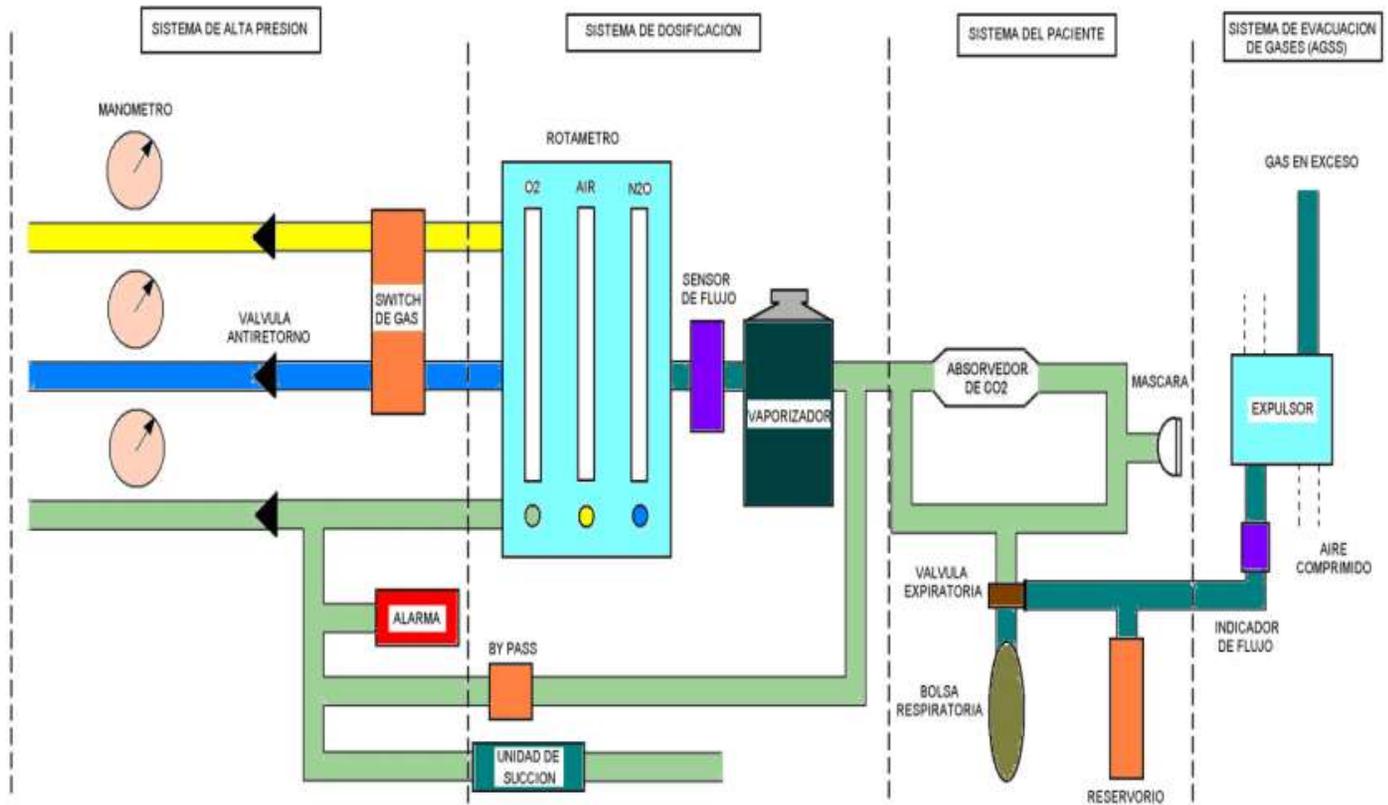


Figura N°17: Diagrama de Bloques de Máquina de anestesia
 Fuente: Iván Zambrano, Ricardo Soto 2010.

5.3.2 Criterios Establecidos

La obtención del número de prioridad de riesgo (NPR) será realizado mediante una valoración a los indicadores de Severidad, Ocurrencia y Detección tal como se indica en la tabla N°:15.

Tabla N° 15: Valoración de indicadores

SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	VALORACIÓN
Ínfima, imperceptible	1 Falla en más de 2 años	Obvia	1
Escasa, falla menor	1 Falla cada 2 años	Escasa	2 - 3
Baja, fallo inminente	1 Falla cada 1 año	Moderada	4 - 5
Media, falla, pero no para el sistema	1 Falla entre 6 meses / 1 año	Frecuente	6 - 7
Elevada Falla crítica	1 Falla entre 1 y 6 meses	Elevada	8 - 9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	1 Falla al mes	Muy elevada	10

Fuente: Tomado como modelo de “Análisis de Modos de Falla y sus Efectos”, de (Universidad Pemex, 2007, p. 11)

Por tanto, el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) se calcula de la siguiente manera:

$$NPR = \text{Severidad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

Con la finalidad de priorizar las acciones para reducir las causas de los modos de fallo, realizaremos una clasificación del número de prioridad de riesgo como Inaceptable, Deseable y Aceptable, esto nos permitirá priorizar los esfuerzos sobre aquello que nos facilita conseguir mayores mejoras, ver tabla N° 16.

Tabla N° 16: Clasificación de número de prioridad de riesgo

CLASIFICACIÓN	NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)
Alta (A)	$NPR > 200$
Media (M)	$200 > NPR > 125$
Baja (B)	$125 > NPR$

Fuente: Tomado como modelo de “Análisis de Modos de Falla y sus Efectos”, de (Universidad Pemex, 2007, p. 16)

FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO (S) POTENCIAL (ES) DE FALLA	SEVERIDAD	CAUSA (S) POTENCIAL (ES) DE FALLA	DISEÑO ACTUAL				NPR	DET		
						CONTROLES DE PREVENCIÓN	DE OCURRENCIA	CONTROLES DE DETECCIÓN	DETECCIÓN				
Proporcionar una mezcla de gases al paciente (oxígeno, óxido nítrico y aire) a una presión establecida entre (75-90 cm de columna de agua).	A	Totalmente incapaz de proporcionar gases al paciente	a	No hay gases en la red del hospital.	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Daño cerebral al paciente.	5	- Falla en equipo generador de oxígeno. - Bloqueo / rotura de tubería troncal.	- Seguir instrucciones de fabricante para su mantenimiento. - Inspecciones de línea Troncal.	1	- Silbato del sistema de detección de gas. - Indicador visual, operado por presión directa.	1	5	B
			b	No hay gases en los cilindros de reserva.	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Daño cerebral al paciente.	5	- Falla en regulador de presión de cilindros. - Bloqueo / rotura de tubería troncal.	- Contraste de la presión con otros instrumentos de medición. - Inspecciones de línea Troncal.	1	- Silbato del sistema de detección de gas. - Indicador visual, operado por presión directa.	3	15	B
			c	Desconexión de los tubos de alimentación.	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Daño cerebral al paciente.	3	- Falla en conectores de tubos alimentadores. - Falla en sistema de sellos de conectores.	- Reemplazo de conectores de acuerdo a recomendaciones del fabricante.	3	- Verificación por parte del especialista encargado.	5	45	B
			d	Válvulas de entrada de gas bloqueadas	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Daño cerebral al paciente.	5	- Falla en empaquetaduras. - Falla en accionamiento de válvula. - Falla por sulfatación / corrosión.	- Contraste de la válvula haciendo uso de un indicador de flujo a la salida.	2	-Verificación por contraste, en indicadores locales.	3	30	B
			e	Controlador de flujo inoperativo.	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Daño cerebral al paciente.	6	- Falla en válvulas principales. - Falla en reguladores de presión. - Falla en los indicadores de presión.	- Pruebas, calibración y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante	5	-Verificación por contraste, en indicadores locales.	5	150	M

FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO (S) POTENCIAL (ES) DE FALLA	SEVERIDAD	CAUSA (S) POTENCIAL (ES) DE	DISEÑO ACTUAL			NPR	DET			
		f	Módulo de oxígeno descalibrado	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Daño cerebral al paciente. 	10	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de oxígeno descalibrado. - Sensor desgastado. - Sensor desconectado. - elemento sensor sulfatado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas, calibración y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante 	8	<ul style="list-style-type: none"> -Alarma por parte del equipo analizador de oxígeno. 	5	400	A	
		g	No hay energía eléctrica para alimentar al equipo.	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo inoperativo. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Daño cerebral al paciente. 	5	<ul style="list-style-type: none"> -Falla en el sistema eléctrico principal. - Falla en el sistema de baterías del equipo. - Falla en el sistema de conmutación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas y mantenimiento al grupo electrógeno. - Mantenimiento a baterías de equipo. - pruebas en sistema de conmutación. 	1	<ul style="list-style-type: none"> - Alarma por ausencia de tensión. - Alarma por bajo nivel en baterías. 	1	6	B	
	B	Presión de gases por debajo de 75 o por encima de 90 cm de columna de agua.	a	Falla en medidor de presión.	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Barotrauma. 	5	<ul style="list-style-type: none"> - Medidor de flujo descalibrado. - Fuga en medidor de flujo. - Desgaste de elemento sensor 	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas, calibración y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante 	3	<ul style="list-style-type: none"> - Alarma por alta / baja presión. 	2	30	B
			b	Falla en regulador de presión.	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Barotrauma. 	4	<ul style="list-style-type: none"> - Regulador de presión corroído. - Regulador de presión mal ajustado. - Regulador de presión mal ajustado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante 	3	<ul style="list-style-type: none"> - Alarma por alta / baja presión. 	2	24	B
Dosificar oxígeno al paciente con un caudal de (2-12 L/min)	A	Incapacidad de dosificar oxígeno al paciente	a	Falla en válvula dosificadora de oxígeno.	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Barotrauma. 	6	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula dosificadora trabada. - Fuga por conexiones de válvulas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante 	2	<ul style="list-style-type: none"> - Indicación de bajo flujo de oxígeno en medidor de caudal 	2	24	B

FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO (S) POTENCIAL (ES) DE FALLA	SEVERIDAD	CAUSA (S) POTENCIAL (ES) DE	DISEÑO ACTUAL			NPR	DET		
		b	Falla en regulador auxiliar de oxígeno.	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Barotrauma.	6	- Regulador de oxígeno mal ajustado. - Elemento sensor desgastado.	- Inspección y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante	6	- Indicación de bajo flujo de oxígeno en medidor de caudal	5	180	M
		c	Falla en válvula de lavado (flush) de oxígeno.	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Barotrauma.	3	- Válvula de lavado mal ajustada. - Suciedad en asiento de válvula. - Volante atascada.	- Inspección y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante	2	- Indicación de bajo flujo de oxígeno en medidor de caudal	4	24	B
Facilitar la ventilación espontánea al paciente en un rango de (2-12 L/min)	A	a	Falla en regulador auxiliar de oxígeno.	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Barotrauma.	1	- Regulador de presión corroído. - Regulador de presión mal ajustado. - Regulador de presión mal ajustado.	- Inspección y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante	2	- Alarma por deficiente presión en circuito de ventilación.	2	4	B
		b	Falla en ventilador de bomba de pistón.	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Barotrauma.	1	- Pistón trabado. - Sellos desgastados. - Cuerpo de pistón con fugas.	- Inspección y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante	4	- Alarma por deficiente presión en circuito de ventilación.	4	16	B
	B	Ventilación por debajo de 2 o por encima de 12 cmH2O	a	Falla en sensores de flujo	- Equipo en estado de alarma. - Proceso quirúrgico en Emergencia. - Barotrauma.	2	- sensor de flujo descalibrado. - Fuga en medidor de flujo. - Desgaste de elemento sensor	- Inspección y mantenimiento de acuerdo a recomendaciones del fabricante	3	- Inspección visual y contraste manual.	3	18

Tabla N° 17: Tabla de AMFE

Fuente: Tomado como modelo de "Análisis de Modos de Falla y sus Efectos", de (Universidad Pemex, 2007, p. 18)

5.4 Elaboración de Análisis Causa Raíz (ACR)

Habiendo determinado el modo de falla (Módulo de oxígeno con falla repetitiva), procederemos con la elaboración del análisis causa raíz a fin de determinar los factores casuales de la falla los cuales pueden estar relacionados con el personal, los procesos y la organización. El análisis causa raíz será elaborado mediante la metodología Causa Efecto, y será plasmado en un árbol lógico.

5.4.1 Enunciado del Problema

Máquina de anestesia totalmente incapaz de proporcionar gases al paciente.

5.4.2 Modo de Falla. – Los modos de falla fueron determinados en el Análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE), ver tabla N°17.

- a. Módulo de oxígeno descalibrado (NPR- Alta).
- b. Controlador de flujo inoperativo (NPR- Media).
- c. Falla en regulador auxiliar de oxígeno (NPR- Media).

5.4.3 Posibles causas (Hipótesis). - Las Posibles causas fueron determinadas en el Análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE), ver tabla N°17.

- a. Sensor de oxígeno descalibrado (NPR- Alta).
- b. Sensor desgastado (NPR- Alta).
- c. Sensor desconectado (NPR- Alta).
- d. Elemento sensor sulfatado (NPR- Alta).
- e. Falla en válvulas principales (NPR- Media).
- f. Falla en reguladores de presión (NPR- Media).
- g. Falla en los indicadores de presión (NPR- Media).
- h. Regulador de oxígeno mal ajustado (NPR- Media).
- i. Elemento sensor desgastado (NPR- Media).

En función de los enunciados descritos anteriormente procederemos con la elaboración de nuestro árbol lógico, a fin de determinar las causas físicas, las causas humanas y las causas latentes. Luego nos enfocaremos en las causas raíces latentes, pues su eliminación garantiza que la falla no ocurra en la máquina de anestesia.



5.4.4 Desarrollo de árbol lógico de fallas

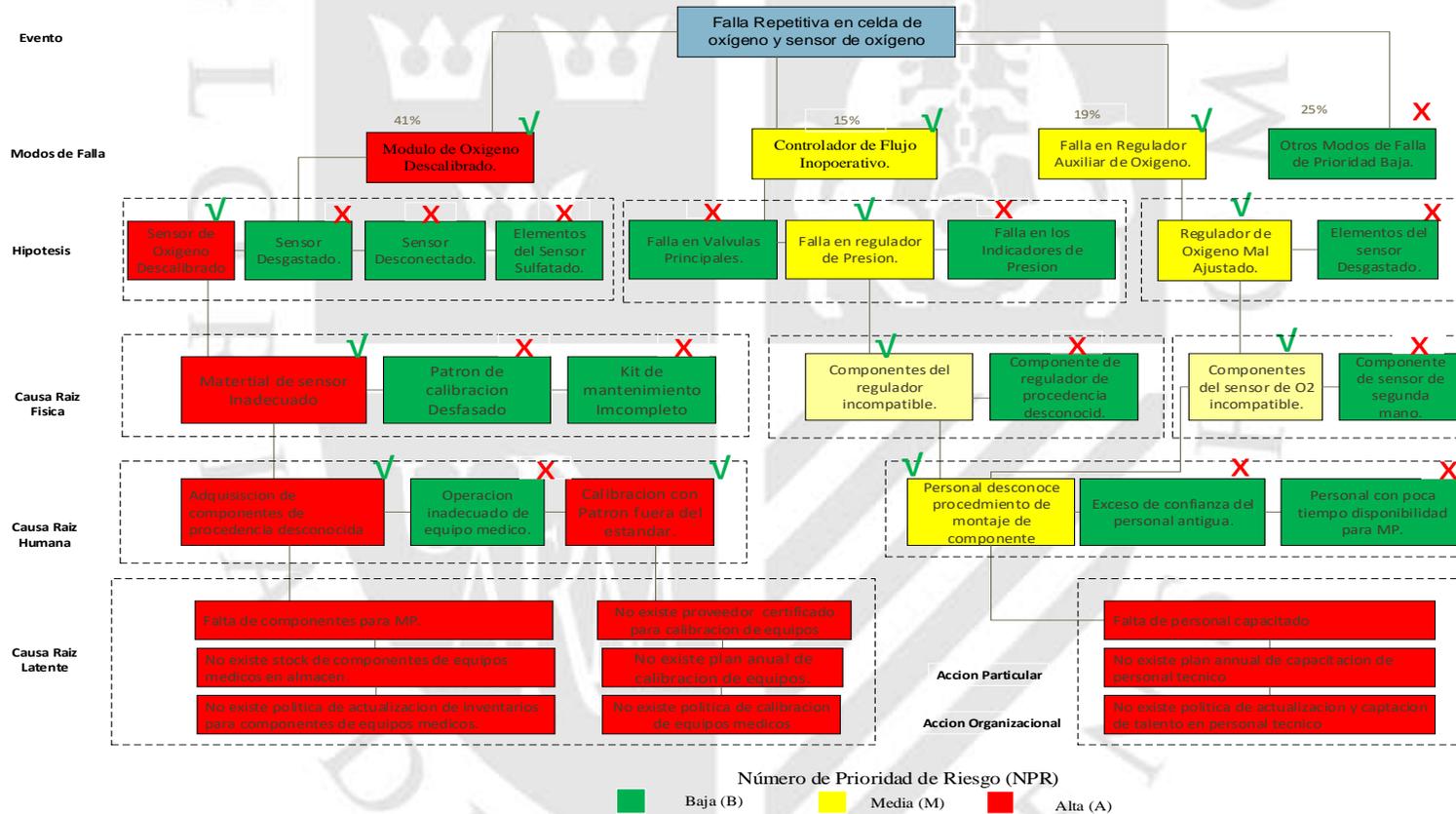
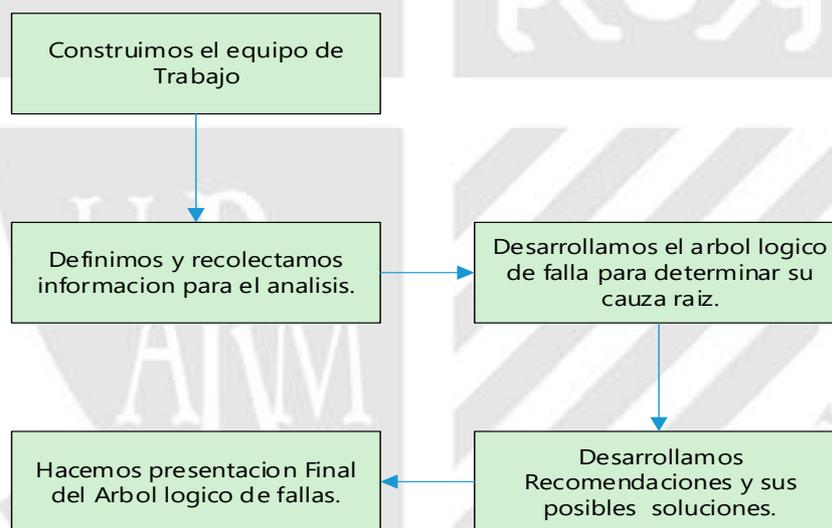


Figura N°18: Árbol Lógico de Fallas

Fuente: Tomado como modelo de "Guía de Sistema de Confiabilidad Operacional -Metodología de Análisis Causa raíz", de (Universidad Pemex, 2007, p. 29).

Para la elaboración de nuestro árbol lógico de fallas se ha utilizado el registro de fallas y reunión con técnicos e ingenieros expertos en el mantenimiento de activos médicos como se detalla en la tabla N°5 (Elaboración propia) del capítulo 4.3.2, tal como indica la revista de Sistema de Confiabilidad Operacional “Cada hipótesis y causa raíz debe ser analizada y puede valorarse mediante: Análisis de falla, Verificación de datos estadísticos, Entrevistas con operadores y mantenedores.” (Universidad Pemex, 2007, p. 21) .

Con el Elaboración propia conformado definimos y recolectamos información, determinamos la causa raíz, desarrollamos recomendaciones y planes de acción de sus posibles soluciones tal como se puede observar en el diagrama de bloques indicado en el Figura N°20.



*Figura N°19: Esquema General de aplicación de un Análisis Causa Raíz
Fuente: Elaboración propia*

5.5 Determinación de la solución

A continuación, procederemos a plantear las alternativas de solución de acuerdo a las recomendaciones indicadas en el árbol lógico de fallas (ver Figura N°19), estas recomendaciones se encuentran según las causas latentes identificadas y lo que se busca es eliminar el modo de fallo de forma definitiva, minimizar los costos de mantenimiento, mejorar la disponibilidad de la máquina de anestesia y disminuir las pérdidas por paradas inesperadas.

5.5.1 Alternativa de solución N°1

Como alternativa N°1 y a fin de eliminar las causas latentes tenemos la opción de realizar las siguientes actividades:

- Un mejoramiento (Up-grade) a la máquina de anestesia.
- Comprar repuestos de acuerdo a las recomendaciones emitidas por el fabricante (realizar alianza estratégica con proveedor), asegurar que los repuestos vengan calibrados de fábrica.
- Establecer plan anual de capacitación del personal técnico.
- Cambio del contrato de mantenimiento.

5.5.2 Alternativa de solución N°2

Como alternativa N°2 y a fin de eliminar las causas latentes tenemos la opción de realizar las siguientes actividades:

- Comprar una nueva máquina de anestesia, que incluya los siguientes beneficios; garantía de 3 años, suministro de repuestos para un año de operación y capacitación del personal técnico (operadores).
- Cambio del contrato de mantenimiento.

5.5.3 Parámetros estadísticos y consideraciones

A continuación, procederemos a detallar los parámetros estadísticos y consideraciones de desarrollo para cada una de las alternativas de solución, las estimaciones serán realizadas mediante la distribución de Weibull.

5.5.3.1 Parámetros estadísticos y consideraciones alternativa N°1

Esta alternativa considera realizar Up grade al equipo actual de tal manera que pueda continuar operando con normalidad por un periodo de 7 años aproximadamente. La información estadística de la cantidad de fallas, los tiempos para fallar (TTF) y tiempos de reparación (TTR), se obtuvieron a través de encuestas realizadas al personal técnico de mantenimiento, personal médico y logístico tal como se detalla en el Anexo C (Tabla N°46: Tiempos entre fallas, tiempos para reparar y tiempos logísticos para el activo realizado Up grade), los resultados obtenidos son mostrados en la Tabla N°18. Con los parámetros

obtenidos calcularemos la disponibilidad probabilística para el horizonte analizado.

Tabla N°18: Parámetros estadísticos para la alternativa N°1

Parámetros Estadísticos	Alternativa N°1 Activo Up Grade				
	Tiempo para realizar TMP. (Hrs)	Tiempo de Entrega de Componentes TEC. (Min)	Tiempo de Adquisición de Componentes TADC. (Hrs)	TTR (Hrs)	TTF (Hrs)
Distribución	Normal	Normal	Normal	Weibull	Weibull
Media	5.8	21.1	36.1	9.6	6300.0
Desv. Estándar	0.6	7.5	16.4	6.1	3420.2
Mediana	6.0	20.0	38.5	7.0	5040.0
Máximo	7.0	35.0	63.0	22.0	15120.0
Mínimo	4.5	10	7	3	2520.0
Forma	0.00	0.00	0.00	1.0	0.9
Escala	0.00	0.00	0.00	7.2	3939.1
Umbral	0.00	0.00	0.00	2.5	2332.6

Fuente: Tomado de “Reporte Informe de Parámetros Estadísticos del Sistema Up Grade”, del (Software Minitab, 2020, pp. 1,10). (Ver Anexo G)

Nota: Se tomo como variable de entrada reportes y encuestas de tiempos (TTR, TTF, TMP, TEC y TADC) para la alternativa N° 1 Activo Up Grade. (Ver Anexo C)

5.5.3.2 Parámetros estadísticos y consideraciones alternativa N°2

La información estadística del MTTF y MTTR fueron obtenidos a través de encuestas realizadas a personal técnico de mantenimiento, personal médico y logístico tal como se detalla en el Anexo C (Tabla N°47: Tiempos entre Fallas, tiempos para reparar y tiempos logísticos para el activo nuevo) esta información fue corroborada con una presentación realizada por el fabricante (GE–Healthcare) para el modelo (Carestation 650) donde se indica que el MTBF es de 20,000 horas esta información es similar a la obtenida en la entrevista desarrollada la cual es detallada en el Anexo D: (Sustento MTBF máquina de anestesia nueva).

Tabla N°19: Parámetros estadísticos para la alternativa N°2

Parámetros Estadísticos	Alternativa N°2				
	Tiempo para realizar TMP. (Hrs)	Tiempo de Entrega de Materiales TED. (Min)	Tiempo de Adquisición de Materiales TADC. (Hrs)	TTR (Hrs)	TTF (Hrs)
Distribución	Normal	Normal	Normal	Weibull	Weibull
Media	5.8	21.1	7.1	4.4	18774.0
Desv. Estándar	0.6	7.5	1.8	1.9	8515.4
Mediana	6.0	20.0	8.0	4.0	17640.0
Máximo	7.0	35.0	10.0	9.0	35280.0
Mínimo	4.5	10	4	2	5040.0
Forma	0.00	0.00	0.00	1.3	1.9
Escala	0.00	0.00	0.00	2.8	17267.1
Umbral	0.00	0.00	0.00	1.7	3451.1

Fuente: Tomado de "Reporte de Parámetros Estadísticos del Sistema Propuesto", de (Software Minitab., 2020, pp. 1,10). (Ver Anexo G)

5.5.4 Modelo RAM para estimación de la Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad

Para la estimación del valor probabilístico de la Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM por sus siglas en inglés), procederemos con la construcción de un diagrama de bloques de confiabilidad para el sistema de anestesia el cual está compuesto por un sistema de alta presión que trabaja en paralelo con el sistema de respaldo, sistema de dosificación y el sistema de ventilación que también cuenta con un sistema de respaldo, tal y como se indica en el Figura N°21.

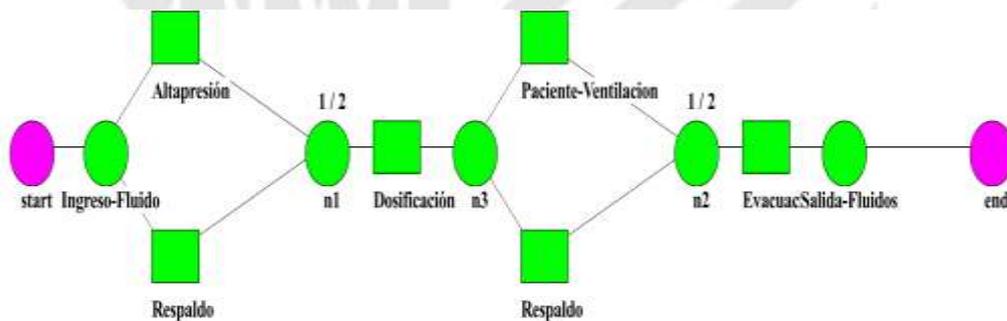
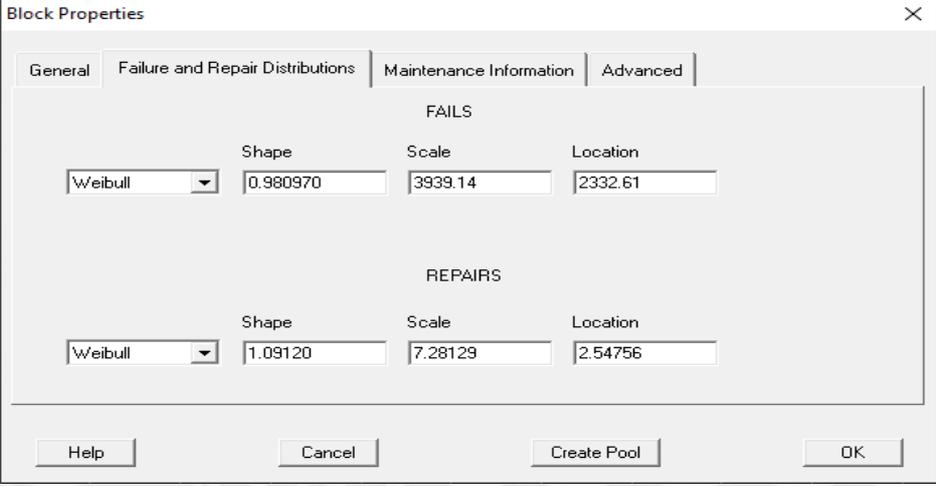


Figura N°20: Diagrama de bloques de confiabilidad máquina de anestesia

Fuente: Tomado de "Reporte Indicadores de Desempeño de Gestión de Mantenimiento del sistema Up Grade", (Software Raptor 4.0, 2020, pág. 2)

5.5.4.1 Resultados modelo RAM alternativa N°1

El modelo del Figura N°21 es ingresado al software RAPTOR 4.0 y a partir de los parámetros estadísticos obtenidos en la tabla N°18, procederemos a realizar una simulación por un periodo de 10 años. Los resultados obtenidos para la alternativa de solución N°1, son mostrados en la tabla N° 20. Se tomo como variable de entrada los parámetros estadísticos de forma, escala y localización de los tiempos TTR y TTF. Así mismo los parámetros estadísticos media y desviación estándar de los tiempos TPM, TEC y TADC para la alternativa N° 1.



The image shows a screenshot of the 'Block Properties' dialog box in the RAPTOR 4.0 software. The dialog has four tabs: 'General', 'Failure and Repair Distributions', 'Maintenance Information', and 'Advanced'. The 'Failure and Repair Distributions' tab is active. It contains two sections: 'FAILS' and 'REPAIRS'. Each section has three input fields: 'Shape', 'Scale', and 'Location'. The 'FAILS' section has a 'Weibull' dropdown menu, a 'Shape' field with the value '0.980970', a 'Scale' field with the value '3939.14', and a 'Location' field with the value '2332.61'. The 'REPAIRS' section has a 'Weibull' dropdown menu, a 'Shape' field with the value '1.09120', a 'Scale' field with the value '7.28129', and a 'Location' field with the value '2.54756'. At the bottom of the dialog, there are four buttons: 'Help', 'Cancel', 'Create Pool', and 'OK'.

Section	Shape	Scale	Location
FAILS	0.980970	3939.14	2332.61
REPAIRS	1.09120	7.28129	2.54756

Figura N° 21: Ingreso de parámetros alternativa N°1 a software RAPTOR 4.0.
Fuente: Tomado de "Reporte Indicadores de Desempeño de Gestión de Mantenimiento del sistema Up Grade", (Software Raptor 4.0, 2020, pág. 2)

Tabla N° 20: Resultados modelo RAM para la alternativa N° 1

DIAS ACUMU.	HORAS POR AÑOS	HORAS ACUMU.	ALTERNATIVA N° 1					
			DISP.	INDISP.	MTTR	MDT	MTBF	# Fallas
365	5040	5040	98.93%	1.07%	9.58	44.06	6,160.23	1.24
730	5040	10080	98.76%	1.24%	9.46	43.88	3,984.35	2.80
1095	5040	15120	98.75%	1.25%	9.22	43.38	4,227.30	4.34
1460	5040	20160	98.71%	1.29%	9.24	43.72	3,774.84	5.96
1825	5040	25200	98.66%	1.34%	9.17	43.16	3,460.88	7.84
2190	5040	30240	98.68%	1.32%	9.26	43.42	3,427.31	9.18
2555	5040	35280	98.59%	1.41%	9.44	43.82	3,202.97	11.38
2920	5040	40320	98.54%	1.46%	9.53	43.58	3,069.94	13.52
3285	5040	45360	98.64%	1.36%	9.51	43.89	3,401.69	14.06
3650	5040	50400	98.63%	1.37%	9.46	44.00	3,338.36	15.74

Fuente: Tomado de "Reporte Indicadores de Desempeño de Gestión de Mantenimiento del sistema Up Grade", (Software Raptor 4.0, 2020, pág. 1). (Ver Anexo G)

5.5.4.2 Resultados modelo RAM alternativa N°2

El modelo del Figura N°21 es ingresado al software RAPTOR 4.0 y a partir de los parámetros estadísticos obtenidos en la tabla N°19, procederemos a realizar una simulación por un periodo de 10 años. Los resultados obtenidos para la alternativa de solución N°2, es mostrada en la tabla N°21. Se tomó como variable de entrada los parámetros estadísticos de forma, escala y localización de los tiempos TTR y TTF. Así mismo los parámetros estadísticos media y desviación estándar de los tiempos TPM, TEC y TADC para la alternativa N° 2.

Figura N°22: Ingreso de parámetros alternativa N°2 a software RAPTOR 4.0.
 Fuente: Tomado de “Reporte de Indicadores de Desempeño de Gestión de Mantenimiento del Sistema Propuesto”, (Software Raptor 4.0, 2020, p. 1)

Tabla N° 21: Resultados modelo RAM para la alternativa N°2.

AÑOS	ALTERNATIVA N° 2									
	DIAS POR AÑOS	DIAS ACUMU.	HORAS POR AÑOS	HORAS ACUMU.	DISP.	INDISP.	MTTR	MDT	MTBF	# Fallas
1	365	365	5040	5040	99.865%	0.14%	6.97	14.02	18,490.09	0.50
2	365	730	5040	10080	99.845%	0.16%	7.50	16.58	13,551.70	0.98
3	365	1095	5040	15120	99.864%	0.14%	7.14	14.37	17,887.75	1.42
4	365	1460	5040	20160	99.843%	0.16%	8.28	15.76	13,247.91	2.12
5	365	1825	5040	25200	99.845%	0.16%	8.44	15.93	13,248.95	2.50
6	365	2190	5040	30240	99.880%	0.12%	7.40	13.68	16,009.30	2.58
7	365	2555	5040	35280	99.867%	0.13%	7.51	15.38	15,191.45	3.10
8	365	2920	5040	40320	99.868%	0.13%	7.45	14.61	14,789.84	3.58
9	365	3285	5040	45360	99.852%	0.15%	7.57	14.55	13,687.77	4.60
10	365	3650	5040	50400	99.855%	0.14%	7.55	14.50	12,894.74	4.98

Fuente: Tomado de “Reporte de Indicadores de Desempeño de Gestión de Mantenimiento del Sistema Propuesto”, (Software Raptor 4.0, 2020, p. 1). (Ver Anexo G)

5.5.5 Costo de Ciclo de Vida (LCC)

Con la finalidad de decidir entre la alternativa N°1 o la alternativa N°2. A continuación, se realiza la comparación del costo de ciclo de vida para ambas alternativas.

5.5.5.1 Definición de costos de ciclo de vida involucrando la confiabilidad

Para determinar el Valor Presente Neto del Costo de Ciclo de Vida (LCC_{CAE}) aplicamos el modelo matemático indicado a continuación:

$$LCC_{CAE} = \sum_{i=0}^n \frac{I_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{O_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{M_i \times (1 - A_i)}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{L_i \times (1 - A_i)}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{D_i}{(1+r)^{n+i}}$$

Donde;

LCC_{CAE} : Costo de ciclo de vida representado en el valor presente neto, I: Costo de adquisición, O: Costo de operación, M: Costo de mantenimiento, A: Disponibilidad, L: Costo por fallas, y D: Costo de Desincorporación.

En el Figura N°24 se detallan todos los costos y sub costos asociados para el cálculo del LCC_{CAE} .

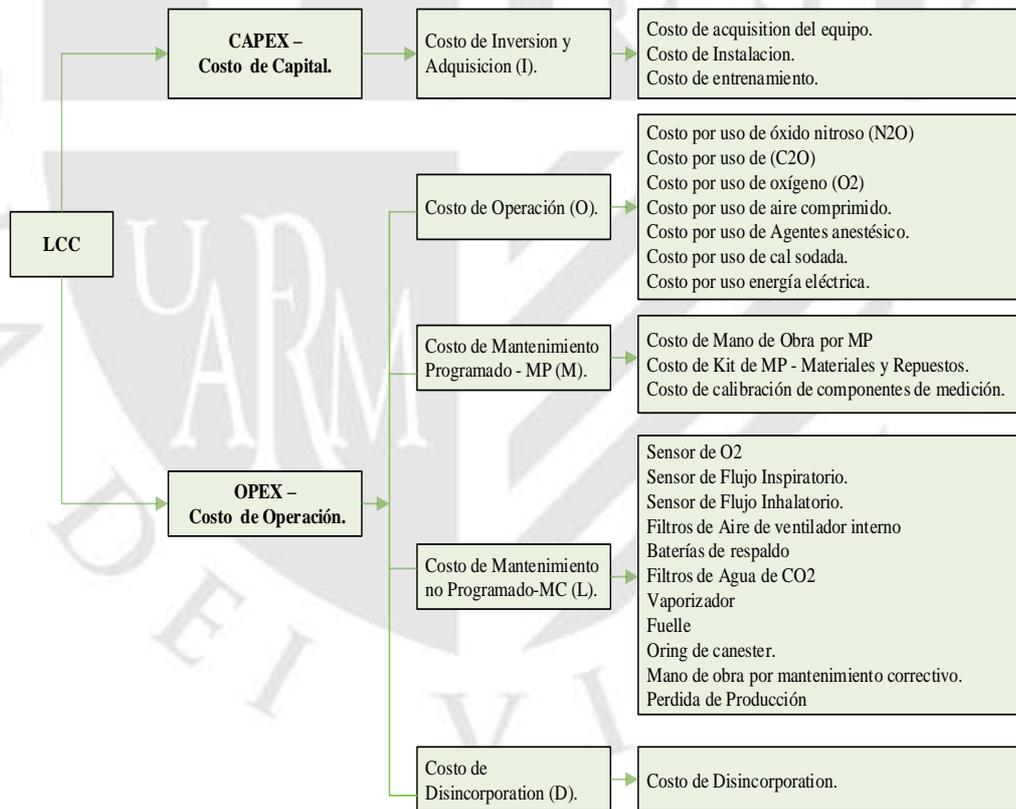


Figura N°23: Costos asociados para el cálculo del costo de ciclo de vida- Norma SAE Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 6)

5.5.5.2 Costos de Capital CAPEX

Costo del equipo: El costo comercial de la alternativa N°1 (Up grade) es de S/. 98, 000 soles y el costo de inversión de la alternativa N°2 (Equipo nuevo) es de S/. 274,000 soles

Tabla N°22: Costos de adquisición.

DESCRIPCIÓN	COSTO DE ADQUISICIÓN - INVERSIÓN (I)		ACTIVO NUEVO		ACTIVO UP GRADE	
	C.U.	Un.	Cant.	Costo	Cant.	Costo
Adecuación del sistema eléctrico y contingencia para el equipo nuevo.	S/12,000	Gl.	1	S/12,000	0	S/0
Adecuación de salidas de fluido medicinal para equipo nuevo.	S/4,000	Gl.	1	S/4,000	0	S/0
Instalación, transporte y puesta en marcha.	S/8,000	Gl.	1	S/8,000	0	S/0
Costo del Activo Nuevo	S/250,000	Gl.	1	S/250,000	0	S/0
Valor comercial del equipo actual.	S/70,000	Gl.	0	S/0	1	S/70,000
Up-Grade	S/20,000	Gl.	0	S/0	1	S/20,000
Capacitación del personal técnico.	S/8,000	Gl.	0	S/0	1	S/8,000
				S/274,00		S/98,000

Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 12)

5.5.5.3 Costos de operación (O)

El costo de operación está representado por la suma de los siguientes costos: costo por uso de óxido nitroso (N₂O), costo por uso de oxígeno (O₂), costo por uso de dióxido de carbono (CO₂), costo por uso de aire comprimido, costo por uso de agentes anestésicos, costo por uso de cal sodada y costo por uso de energía eléctrica.

Para la alternativa N°1 se tomarán los registros de consumo de fluidos medicinales que se detallan en el Anexo B (Registro de consumo de Fluidos medicinales y energía) desde ahí se ha extraído la información del consumo anual tal como se detalla en la tabla N°23.

Para la alternativa N°2 se estimará el consumo de los fluidos medicinales con la herramienta de cálculo Crystall Ball con esta herramienta se consiguió que la mejor distribución probabilística que se ajusta a los datos es una distribución normal.

Tabla N° 23: Costos de operación.

COSTO DE OPERACIÓN (O)			ACTIVO NUEVO		ACTIVO UP GRADE	
Costo de Materiales directos.	C.U.	Un.	Cant.	costo	Cant.	costo
Costo por uso de óxido nitroso (N2O)	S/7.6	M3	11.8	S/89	20	S/151.20
Costo por uso de (C2O)	S/6.5	M3	11.6	S/75	20	S/130.00
Costo por uso de oxígeno (O2)	S/7.6	M3	10.4	S/79	18	S/136.80
Costo por uso de aire comprimido.	S/8.3	M3	17.5	S/145	180	S/1,490.40
Costo por uso de Agentes anestésico.	S/220.0	lt	12	S/2,640	18	S/3,960.00
Costo por uso de cal sodada.	S/40.0	kg	24	S/960	24	S/960.00
Costo por uso energía eléctrica.	S/0.6	kwh	1377.1	S/826	3000	S/1,800.00
Costo por suministro de material estéril.	S/55.0	kg	220	S/12,100	280	S/15,400.00
Costo por suministro de agua	S/0.1	m3	3000	S/300	3500	S/350.00
Costo total de Materiales.				S/17,215		S/24,378.40
Costo de personal directo.						
Costo personal medico	S/10,285.7	Un	4	S/41,143	4	S/41,142.86
Costo personal Enfermería.	S/857	Un	1	S/857	1	S/857.14
Costo personal limpieza	S/643	Un	2	S/1,286	2	S/1,285.71
Costo total de personal directa				S/43,285.71		S/43,285.71
Costos Administrativos						
Coordinador administrativo de Activos médicos.	S/1,071	Un	1	S/1,071.43	2	S/2,142.86
Coordinador administrativo de servicios médicos.	S/1,071	Un	1	S/1,071.43	1	S/1,071.43
Costo total de administración				S/2,142.86		S/3,214.29
Total, Costo de Operación				S/62,643.38		S/70,878

Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 12)

5.5.5.4 Costo de Mantenimiento Programado -MP (M)

El costo de mantenimiento para nuestro análisis es la suma de los siguientes costos: costo de mano de obra por mantenimiento preventivo, costo de kit de mantenimiento y costo de calibración del equipo tal como se detalla en la tabla N°24. El costo de mano de obra y materiales se realiza trimestralmente de acuerdo al plan de mantenimiento preventivo y la calibración del equipo se realiza cada 6 meses.

La frecuencia de actividades se ha mantenido desde la adquisición del equipo por lo tanto se considerará las mismas frecuencias para ambos escenarios.

Tabla N°24: Costos de mantenimiento programado

COSTO DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO- MP (M)	ACTIVO NUEVO	ACTIVO UP GRADE
---	--------------	-----------------

Descripción	C.U.	Frecuencia/ año	Costo	C.U.	Frecuencia/ año	costo
Costo de Mantenimiento Programado/ Contrato nuevo	S/450	12	S/5,400	S/650	12	S/7,800.00
Costo de Kit de MP - Materiales y Repuestos.	S/500	4	S/2,000	S/850	4	S/3,400
Costo de calibración de componentes de medición.	S/350	2	S/700	S/350	2	S/700
S/8,100						S/11,900

Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 6)

5.5.5.5 Costo por fallas – Mantenimiento Correctivo (L)

El costo por fallas es la suma de los siguientes costos: Costo por componentes utilizados en cada falla más los costos de mano de obra por reparación.

Tabla N°25: Costo por fallas mantenimiento correctivo

COSTO POR FALLAS - MC (L)	ACTIVO NUEVO			ACTIVO UP GRADE		
	C.U.	Años	# Fallas	Costo	# Fallas	Costo
Componentes y actividades						
Sensor de O2	S/1,500	1	0.48	S/9,768	1.56	S/31,746
Sensor de Flujo Inspiratorio.	S/1,200	2	0.44	S/8,954	1.54	S/31,339
Sensor de Flujo Inhalatorio.	S/1,100	3	0.70	S/14,245	1.62	S/32,967
Filtros de Aire de ventilador interno	S/100	4	0.38	S/7,733	1.88	S/38,258
Baterías de respaldo	S/8,000	5	0.08	S/1,628	1.34	S/27,269
Filtros de Agua de CO2	S/130	6	0.52	S/10,582	2.20	S/44,770
Vaporizador	S/6,000	7	0.48	S/9,768	2.14	S/43,549
Fuelle	S/1,800	8	1.02	S/20,757	0.54	S/10,989
O ring de canester	S/120	9	0.38	S/7,733	1.68	S/34,188
Mano de obra por mantenimiento correctivo.	S/400	10	1.05	S/21,368	2.30	S/46,805
S/20,350						

Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 13)

5.5.5.6 Costos por pérdida de producción

Los costos por pérdida de producción se muestran en la tabla N°26, los costos indicados se han calculado involucrando la indisponibilidad del equipo y la producción óptima del mismo la cual haciende a S/196,363.68.

Tabla N°26: Costo por pérdida de producción

AÑOS	ACTIVO NUEVO			ACTIVO UP GRADE		
	DISP.	INDISP.	Perdida de Producción	DISP.	INDISP.	Perdida de Producción
1	99.865%	0.14%	S/266.050	98.93%	1.07%	S/2,106.701
2	99.845%	0.16%	S/304.836	98.76%	1.24%	S/2,428.383
3	99.864%	0.14%	S/266.496	98.75%	1.25%	S/2,446.379
4	99.843%	0.16%	S/308.915	98.71%	1.29%	S/2,532.625
5	99.845%	0.16%	S/304.896	98.66%	1.34%	S/2,629.712
6	99.880%	0.12%	S/235.086	98.68%	1.32%	S/2,589.038
7	99.867%	0.13%	S/261.676	98.59%	1.41%	S/2,764.282
8	99.868%	0.13%	S/258.590	98.54%	1.46%	S/2,867.865
9	99.852%	0.15%	S/291.123	98.64%	1.36%	S/2,664.926
10	99.855%	0.14%	S/283.781	98.63%	1.37%	S/2,695.719
PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL POR ALQUILER						S/196,363.68

Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 13)

5.5.5.7 Depreciación de los activos

En las tablas N° 27 y N° 28 se muestran los costos de depreciación anual tanto para la alternativa N°1 (activo Up grade) como para la alternativa N°2 (activo nuevo).

Tabla N° 27: Costo por depreciación anual activo mejorado

DEPRECIACIÓN ACTIVO UP GRADE					
Costo	Valor residual	Vida útil	Dep. anual	Dep. acumulada	Valor residual en libros
S/98,000.00					
S/70,000.00	S/5,000.00	7.00	S/9,285.71	S/9,285.71	S/60,714.29
S/70,000.00	S/5,000.00	6.00	S/9,285.71	S/18,571.43	S/51,428.57
S/70,000.00	S/5,000.00	5.00	S/9,285.71	S/27,857.14	S/42,142.86
S/70,000.00	S/5,000.00	4.00	S/9,285.71	S/37,142.86	S/32,857.14
S/70,000.00	S/5,000.00	3.00	S/9,285.71	S/46,428.57	S/23,571.43
S/70,000.00	S/5,000.00	2.00	S/9,285.71	S/55,714.29	S/14,285.71
S/70,000.00	S/5,000.00	1.00	S/9,285.71	S/65,000.00	S/5,000.00

Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 13)

Tabla N°28: Costo por depreciación anual – Activo nuevo

DEPRECIACION ACTIVO NUEVO					
Costo	Valor residual	Vida útil	Dep. anual	Dep. acumulada	Valor residual en libros
S/274,000					
S/169,880	S/80,000	10.00	S/8,988	S/8,988	S/160,892
S/169,880	S/80,000	9.00	S/8,988	S/17,976	S/151,904

S/169,880	S/80,000	8.00	S/8,988	S/26,964	S/142,916
S/169,880	S/80,000	7.00	S/8,988	S/35,952	S/133,928
S/169,880	S/80,000	6.00	S/8,988	S/44,940	S/124,940
S/169,880	S/80,000	5.00	S/8,988	S/53,928	S/115,952
S/169,880	S/80,000	4.00	S/8,988	S/62,916	S/106,964
S/169,880	S/80,000	3.00	S/8,988	S/71,904	S/97,976
S/169,880	S/80,000	2.00	S/8,988	S/80,892	S/88,988
S/169,880	S/80,000	1.00	S/8,988	S/89,880	S/80,000

Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 13)

5.5.5.8 Costo de Desincorporación (L)

Para nuestro estudio se depreciará estos costos, entonces el valor del costo de desincorporación será cero (S/. 0) Soles.

Tabla N°29: Costo de desincorporación

COSTO DE DESINCORPORACIÓN (D)		ACTIVO NUEVO		ACTIVOUP GRADE		
DESCRIPCIÓN	C.U.	Un.	Desinc.	Costo	Cantidad	Costo
No se tiene costo de desincorporación	S/0.00	Un.	0	S/0	S/0	S/0
				S/0		S/0

Fuente: Tomado como modelo de "Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment", de (Barringer, 1997, pág. 13)

5.5.5.9 Consideraciones para el cálculo del LCC_{CAE}

- Tasa de actualización (Ke) 28.2%, este valor se sustenta en el Anexo F: (Cálculo de costo de Capital Ke (COK)).
- Horizonte de análisis para la alternativa N°1 (Up grade) será de siete (7) años, debido a que la máquina de anestesia ya cuenta con 10 años de operación.
- El horizonte de análisis para el activo nuevo será de diez (10) años (COCIR - European coordination committee of the radiological, electromedical and healthcare it industry, 2015) Indica que:

El período de soporte está definido por los estándares del mercado internacional, pero no hay obligaciones legales relacionadas con el fin del servicio, los fabricantes se comprometen a garantizar el soporte técnico durante el tiempo en que sus productos estén en uso con respecto a la seguridad del producto y relevancia clínica. Este periodo suele ser de

10 años (aproximadamente), esta información lo confirma IETSI (instituto de evaluación de tecnologías en salud e investigación).

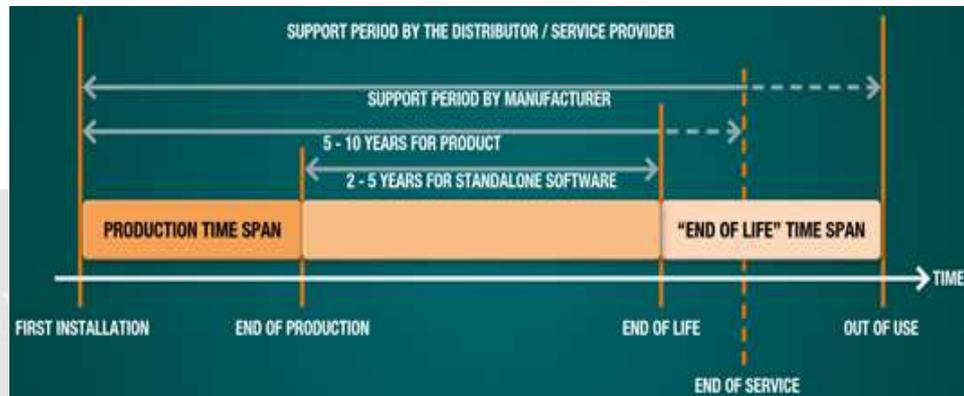


Figura N°24: Ciclo de vida útil del activo.

Fuente: Tomado de” (COCIR - European coordination committee of the radiological, electromedical and healthcare it industry, 2015, pág. 15)

- La máquina de anestesia de la alternativa N°2 posee garantía de tres años que incluye: Mantenimiento preventivo, suministro de componentes, capacitación al personal médico y técnico tal como se detalla en el Anexo E: (Cotización de activo médico nuevo).

5.5.5.10 Resultados del LCC_{CAE}

En la tabla N° 30 y N°31 se muestran los resultados obtenidos del Costo Anual Equivalente del Costo de Ciclo de Vida (LCC_{CAE}) para la alternativa N°1 y alternativa N°2, respectivamente

Tabla N°30: Valor presente neto del costo de ciclo de vida alternativa N°1.

Valor presente neto del costo de ciclo de vida LCC _{CAE} - Alternativa N°1								
AÑOS	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
COSTO CAPEX	-S/119,378	73553	62128	50702	39277	27851	16426	5000
Valor comercial del Activo (I)	-S/119,378	0	0	0	0	0	0	0
Valor de Residual del Activo.		73553	62128	50702	39277	27851	16426	5000
Actualización del CAPEX		62004	81577	95315	104838	111336	115678	118500
COSTO OPEX		116576	120621	126612	136550	130447	152940	157172
Costo de Operación (O)		70,878	74,422	78,143	82,051	86,153	90,461	94,984
Costo de Mantenimiento – Mantenimiento Preventivo(M)		11,900	12,495	13,120	13,776	14,465	15,188	15,947
Costo por fallos – Mantenimiento correctivo(L)		33,797	33,704	35,349	40,724	29,830	47,291	46,241
Costo de Desincorporación (D)		0	0	0	0	0	0	0
Disponibilidad		98.93%	98.76%	98.75%	98.71%	98.66%	98.68%	98.59%
Indisponibilidad		1.07%	1.85%	2.35%	4.85%	3.50%	3.50%	3.50%
Actualización del OPEX		90933	164324	224416	274968	312638	347088	374704
Costo de oportunidad	28.2%							
CAE total alternativa N°1	S/169,281.93							

Fuente: Tomado de “La Vida Útil de un Activo y Políticas de Reemplazo de Activos.”, de (Bravo Orellana, 2001, pág. 145).

Tabla N°31: Valor presente neto del costo de ciclo de vida alternativa N°2.

Valor presente neto del costo de ciclo de vida LCC_{CAE} - Alternativa N°2											
AÑOS	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
COSTO CAPEX	-283,273	166,067	156,504	146,941	137,378	127,815	118,252	108,689	99,126	89,563	80,000
Costo de adquisición (I)	-283,273										
Valor de Residual del Activo.		166,067	156,504	146,941	137,378	127,815	118,252	108,689	99,126	89,563	80,000
Actualización del costo CAPEX		153,736	188,049	213,534	232,415	246,364	256,637	264,176	269,688	273,698	276,602
COSTO OPEX		49,562	52,041	54,643	73,519	70,684	83,005	85,827	90,020	91,590	118,553
Costo de Operación (O)		49,562	52,041	54,643	57,375	60,244	63,256	66,418	69,739	73,226	76,888
Costo de Mantenimiento – Mantenimiento Preventivo(M)		0	0	0	8,100	8,505	8,930	9,377	9,846	10,338	10,855
Costo por fallas – Mantenimiento correctivo(L)		0	0	0	8,044	1,935	10,819	10,031	10,435	8,026	30,811
Costo de Desincorporación (D)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Disponibilidad		99.86%	99.84%	99.86%	99.84%	99.84%	99.88%	99.87%	99.87%	99.85%	99.86%
Indisponibilidad		0.14%	0.16%	0.14%	0.16%	0.16%	0.12%	0.13%	0.13%	0.15%	0.14%
Actualización del costo OPEX		38,660	70,324	96,258	123,476	143,887	162,584	177,665	190,002	199,794	209,680
Costo de oportunidad	28.2%										
CAE total alternativa N°2	S/147,066.61										

Fuente: Tomado de "La Vida Útil de un Activo y Políticas de Reemplazo de Activos.", de (Bravo Orellana, 2001, pág. 145).

De los resultados obtenidos en las tablas N°30 y N°31 podemos concluir que el CAE de la alternativa de solución N°2 (S/147,066.61 soles) es inferior al CAE de la alternativa de solución N°1 (S/169,281.93 soles), por tanto, la alternativa N°2 generará menos pérdidas.

5.5.5.11 Análisis de reemplazo óptimo del activo

A continuación, realizaremos el análisis de reemplazo óptimo del activo seleccionado (activo nuevo) con la finalidad de evitar costos innecesarios de operación y mantenimiento.

Con los costos mostrados en la tabla N°31 (Valor presente neto del costo de ciclo de vida alternativa N°2) realizaremos el análisis del reemplazo óptimo del activo.

Tabla N°32: Determinación del reemplazo óptimo del activo seleccionado.

DETERMINACIÓN DEL REEMPLAZO ÓPTIMO DEL ACTIVO SELECCIONADO											
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COSTO CAPEX	-267,211	157,104	148,537	139,970	131,403	122,836	114,268	105,701	97,134	88,567	80,000
Costo de adquisición (I)	-267,211										
Valor de Residual del Activo.		157,104	148,537	139,970	131,403	122,836	114,268	105,701	97,134	88,567	80,000
Actualización del costo CAPEX		144,665	176,834	200,780	218,565	231,740	241,472	248,639	253,899	257,743	260,540
COSTO OPEX		50,366	52,884	55,529	74,434	71,645	84,018	86,890	91,138	92,763	119,786
Costo de Operación (O)		50,366	52,884	55,529	58,305	61,220	64,281	67,495	70,870	74,414	78,134
Costo de Mantenimiento – Mantenimiento Preventivo(M)		0	0	0	8,100	8,505	8,930	9,377	9,846	10,338	10,855
Costo por fallas – Mantenimiento correctivo(L)		0	0	0	8,028	1,920	10,807	10,018	10,422	8,011	30,796
Costo de Desincorporación (D)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Disponibilidad		99.86%	99.84%	99.86%	99.84%	99.84%	99.88%	99.87%	99.87%	99.85%	99.86%
Indisponibilidad		0.14%	0.16%	0.14%	0.16%	0.16%	0.12%	0.13%	0.13%	0.15%	0.14%
Actualización del costo OPEX		39,287	71,465	97,819	125,375	146,064	164,990	180,257	192,748	202,665	212,654
Costo de oportunidad	28.2%										
CAE CAPEX		185,461	127,358	107,768	97,866	91,885	87,893	85,062	82,971	81,384	80,157
CAE OPEX		50,366	51,470	52,504	56,139	57,914	60,055	61,668	62,988	63,993	65,424
CAE Total del activo nuevo		235,827	178,828	160,271	154,005	149,799	147,948	146,730	145,959	145,377	145,581

Fuente: Tomado de “La Vida Útil de un Activo y Políticas de Reemplazo de Activos.”, de (Bravo Orellana, 2001, pág. 145).

De los resultados obtenidos en la tabla N°32, podemos inferir que la empresa deberá liquidar el activo (máquina de anestesia) después de nueve (09) años de uso.

Así mismo con los resultados de la tabla N°32 se procedió a elaborar el Figura N° 26, en dicha figura se observa el punto de inflexión o costo óptimo donde se debiera realizar el reemplazo del activo. Esto debido a que los costos de Operación y Mantenimiento (OPEX) van aumentando con el tiempo y la disponibilidad y los costos de capital y de inversión (CAPEX) van disminuyendo.

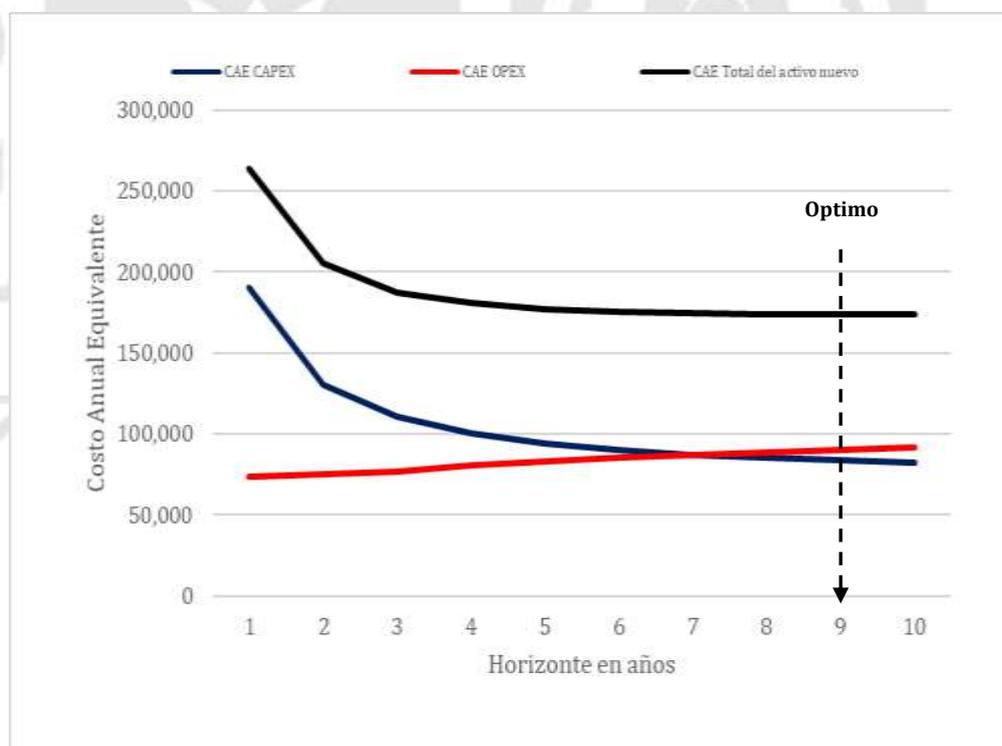


Figura N°25: Ciclo de vida útil económica del activo seleccionado.
Fuente: Tomado de "La Vida Útil de un Activo y Políticas de Reemplazo de Activos.", de (Bravo Orellana, 2001, pág. 145).

En ese sentido podemos concluir que la empresa deberá implementar una política de modernización de activos (máquina de anestesia) cada nueve (09) años.

5.6 Comparación entre el sistema propuesto y el sistema existente

Habiendo decidido por la alternativa de solución N°2 (implementación de una nueva máquina de anestesia), a continuación, procederemos a determinar los indicadores de gestión (KPI), los diagramas de actividades de proceso (DAP) y simulación tanto del sistema propuesto como del sistema existente.

5.6.1 Indicadores de Gestión (KPI)

Para predecir nuestros indicadores de gestión utilizaremos el software de confiabilidad RAPTOR 4.0. La data para el sistema existente (activo actual) fue obtenida de los registros históricos de la empresa (Ver Anexo A), mientras que los datos para el sistema propuesto (activo nuevo) están indicados en el ítem 5.5.3.2 (Parámetros estadísticos y consideraciones alternativa N°2). El horizonte de análisis será de 10 años sabiendo que el reemplazo óptimo de la máquina de anestesia se determinó cada nueve años, por tanto, la comparación se realizará en ese año.

5.6.2 Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio Para Reparar

En la tabla N°33 se muestra los resultados obtenidos para el MTBF y MTTR del sistema existente (activo actual) y del sistema propuesto (activo nuevo).

Tabla N° 33: Comparación tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar.

AÑOS	HORAS ACUMU.	SISTEMA EXISTENTE		SISTEMA PROPUESTO	
		MTBF	MTTR	MTBF	MTTR
1	5040	1,070.72	63.31	18,490.09	6.97
2	10080	873.81	64.47	13,551.70	7.50
3	15120	842.76	67.72	17,887.75	7.14
4	20160	839.53	64.25	13,247.91	8.28
5	25200	810.40	65.83	13,248.95	8.44
6	30240	814.70	65.04	16,009.30	7.40
7	35280	821.41	66.35	15,191.45	7.51
8	40320	816.89	65.78	14,789.84	7.45
9	45360	807.76	65.26	13,687.77	7.57
10	50400	798.70	66.08	12,894.74	7.55

Fuente: Tomado de "Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto", del (Software Raptor 4.0, 2020, pp. 1,10). (Ver Anexo G)

De la tabla N°33 podemos ver que en el noveno año y bajo el sistema existente se produce una falla (MTBF) cada 807.76 horas, mientras que para el sistema propuesto se produciría una falla cada 13,687.77 horas. Mientras que reparar una falla (MTTR) en el sistema existente toma 65.26 horas mientras que en el nuevo sistema reparar una falla tomaría 7.57 horas.

En la figura N°27 se detalla la tendencia del MTBF para el activo actual y el activo nuevo, se puede observar que el activo nuevo en todo el horizonte de análisis es superior al activo actual, en ese sentido se puede confirmar que el activo actual fallaría en menos tiempo de operación.

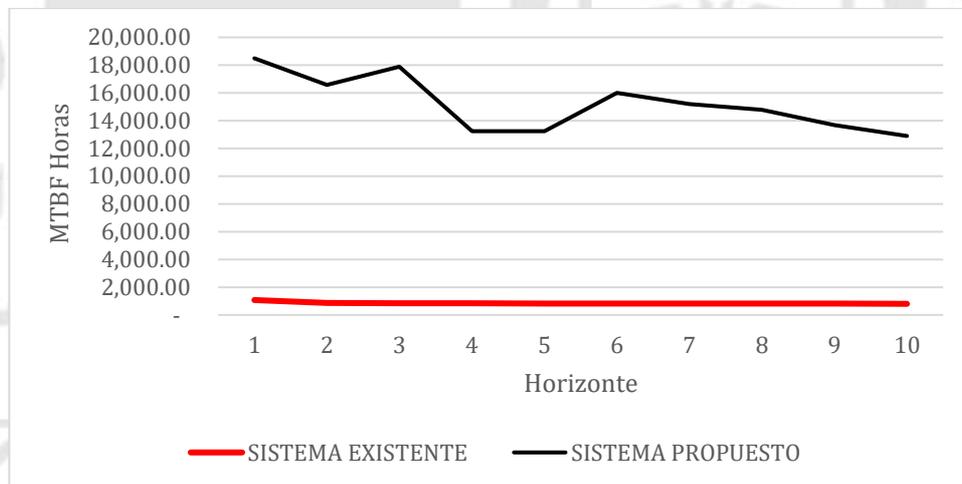


Figura N°26: Tendencia de MTBF

Fuente: Tomado de "Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto", del (Software Raptor 4.0, Reporte de Indicadores de Desempeño de Gestion de Mantenimiento - Sistema Propuesto, 2020, pp. 1,10).

En la figura N°28 se detalla la tendencia del MTTR para el activo actual y el activo nuevo, se puede observar que el activo actual tiene mayor tiempo de reparación en todo el horizonte de análisis.

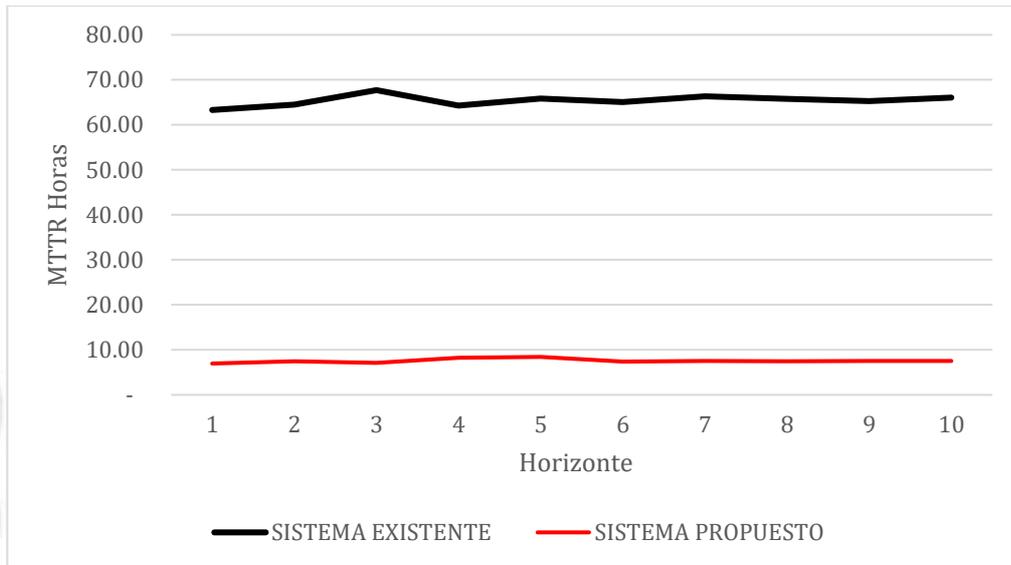


Figura N°27: Tendencia del MTTR

Fuente: Tomado de “Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto”, del (Software Raptor 4.0, 2020, pp. 1,10).

5.6.2.1 Disponibilidad (D)

En la tabla N°34 se muestra los resultados obtenidos para la disponibilidad del sistema existente (activo actual) y del sistema propuesto (activo nuevo).

Tabla N° 34: Comparación de la disponibilidad.

AÑOS	HORAS ACUMU.	SISTEMA EXISTENTE	SISTEMA PROPUESTO
		Disponibilidad.	Disponibilidad.
1	5040	87.15%	99.865%
2	10080	86.02%	99.845%
3	15120	85.13%	99.864%
4	20160	85.85%	99.843%
5	25200	84.94%	99.845%
6	30240	85.54%	99.880%
7	35280	85.33%	99.867%
8	40320	85.66%	99.868%
9	45360	85.21%	99.852%
10	50400	85.16%	99.855%

Fuente: Tomado de “Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto”, del (Software Raptor 4.0, 2020, pp. 1,10). (Ver Anexo G)

De la tabla N°34 y para el noveno año podemos observar que la máquina de anestesia bajo el sistema existente tuvo una disponibilidad de 85.21% y bajo el sistema propuesto tendría una disponibilidad de 99.85%.

En el Figura N°29 se puede observar la tendencia y comparación de la disponibilidad para el activo nuevo y el activo actual, se puede ver que el activo nuevo posee mayor disponibilidad.

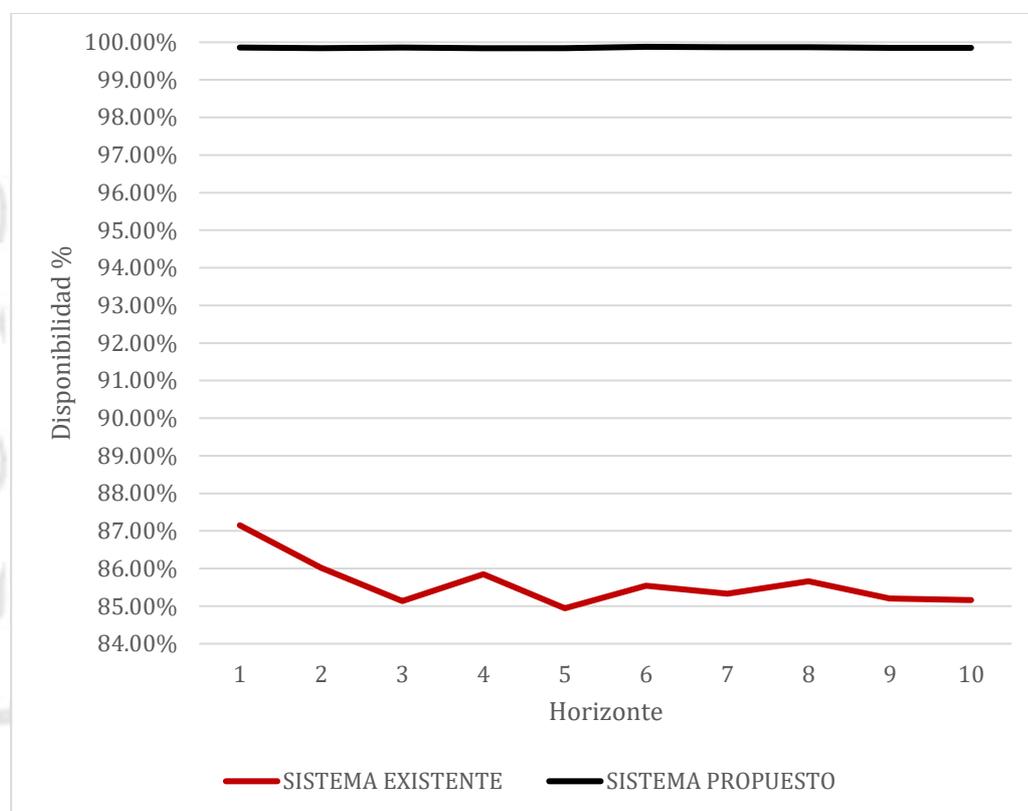


Figura N°28: Tendencia de la disponibilidad.

Fuente: Tomado de "Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto", del (Software Raptor 4.0, 2020, pp. 1,10).

5.6.2.2 Confiabilidad (R)

En la tabla N°35 se muestra los resultados obtenidos para la confiabilidad del sistema existente (activo actual) y del sistema propuesto (activo nuevo).

Tabla N° 35: Comparación de la confiabilidad.

MES	HORAS ACUMULADAS	SISTEMA EXISTENTE	SISTEMA PROPUESTO
		Confiabilidad	Confiabilidad
1	420	90.00%	100.00%
2	840	56.00%	88.00%
3	1,260	24.00%	86.00%
4	1,680	18.00%	84.00%
5	2,100	10.00%	80.00%
6	2,520	2.00%	76.00%
7	2,940	0.00%	74.00%
8	3,360	0.00%	68.00%
9	3,780	0.00%	62.00%
10	4,200	0.00%	62.00%
11	4,620	0.00%	62.00%
12	5,040	0.00%	62.00%

Fuente: Tomado de "Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto", del (Software Raptor 4.0, 2020, pp. 1,10). (Ver Anexo G)

De la tabla N°35 podemos inferir que la máquina de anestesia por un período de tiempo de 2100 horas y bajo el sistema existente tendrá una probabilidad del 10% que realice su función prevista sin inconvenientes (Confiabilidad) mientras que bajo el sistema propuesto se incrementaría a un 80%.

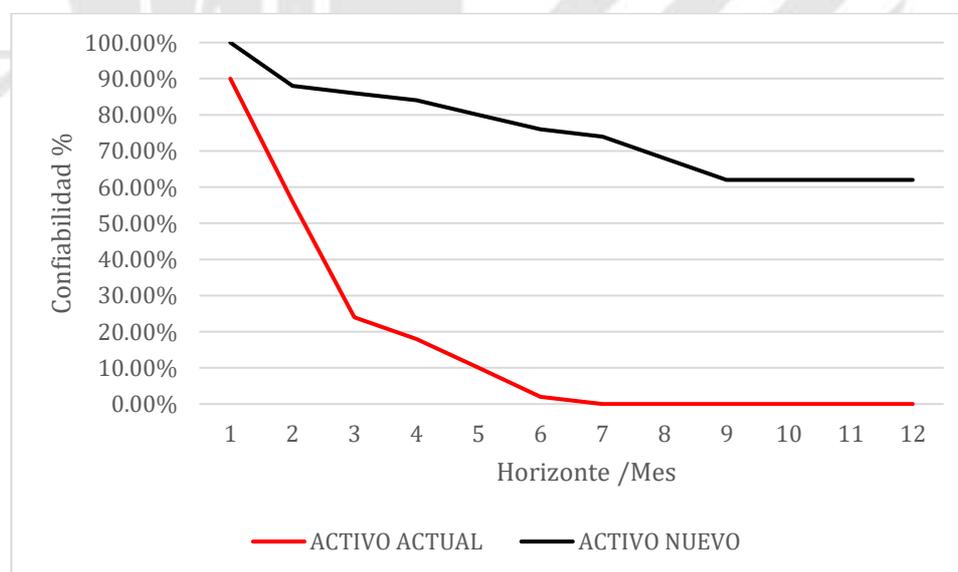


Figura N°29: Tendencia de la Confiabilidad

Fuente: Tomado de "Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto", del (Software Raptor 4.0, 2020, pp. 1,10).

5.6.2.3 Mantenibilidad (M)

En la tabla N°36 se muestra los resultados obtenidos para la mantenibilidad del sistema existente (activo actual) y del sistema propuesto (activo nuevo).

Tabla N°36: Comparación de la mantenibilidad

DIA	HORAS ACUMULADAS	SISTEMA EXISTENTE	SISTEMA PROPUESTO
		Mantenibilidad	Mantenibilidad
0.5	7	79%	97%
1	14	61%	95%
1.5	21	46%	93%
2	28	35%	91%
2.5	35	26%	89%
3	42	19%	87%
3.5	49	14%	85%
4	56	10%	83%
4.5	63	8%	81%
5	70	6%	80%
5.5	77	4%	78%
6	84	3%	76%

Fuente: Tomado de "Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto", del (Software Raptor 4.0, 2020, pp. 1,10). (Ver Anexo G)

De acuerdo a lo mostrado en la tabla N° 36 existe una probabilidad de que se repare el equipo (mantenibilidad) en siete horas de 79% bajo el sistema existente y de 97% bajo el sistema propuesto.

En la figura N°31 se puede observar la tendencia y la comparación de la mantenibilidad para ambos activos, llegando a concluir que el activo nuevo tiene mayor probabilidad de mantenibilidad en todo el periodo de análisis.

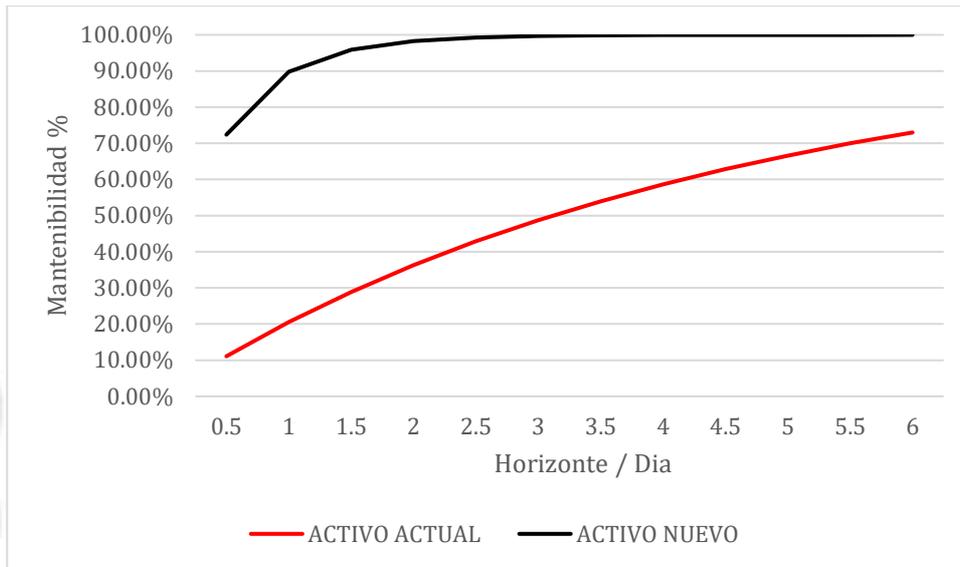


Figura N°30: Tendencia de la mantenibilidad
Fuente: Tomado de “Reporte proyecto del Sistema Existente vs Sistema Propuesto”, del
(Software Raptor 4.0, 2020, pp. 1,10).

5.6.3 Diagramas de Actividades de Proceso (DAP)

A continuación, desarrollaremos los diagramas de actividades de proceso (DAP) para ambos sistemas de mantenimiento tal como se detalla en los Figuras N°32 y N°33.

5.6.3.1 DAP Sistema Existente

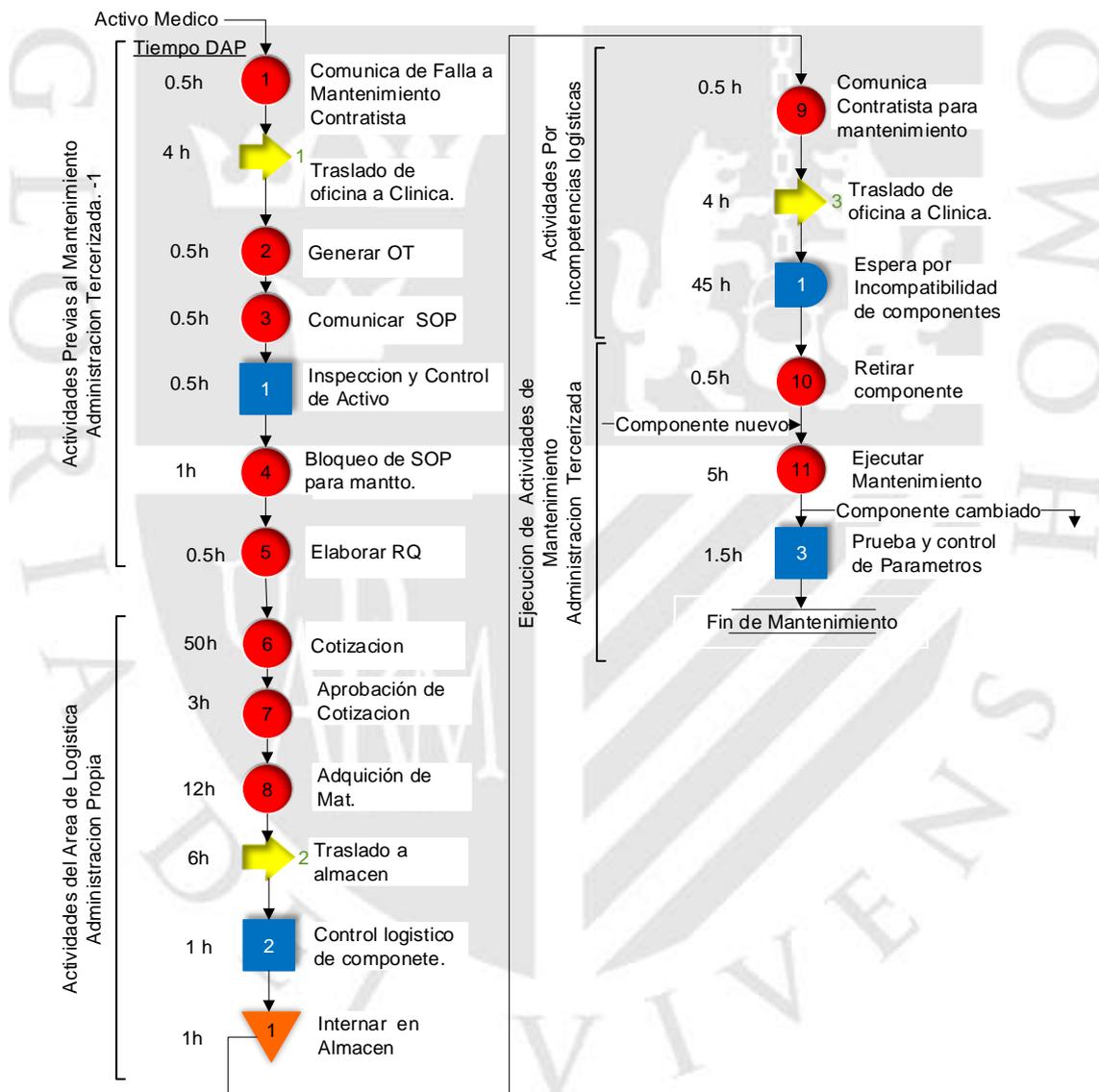


Figura N°31: Diagrama de Análisis de Proceso Sistema Existente.
Fuente: Elaboración propia

En el Figura N°32 podemos observar que el sistema de existente está compuesto por tres sub sistemas:

- Actividades previas al mantenimiento. - Estas actividades consideran la identificación del tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo), estas actividades son desarrolladas por una empresa contratista.
- Actividades del área logística. - En este punto se tienen actividades que conciernen al requerimiento de los repuestos necesarios para realizar el mantenimiento (preventivo o correctivo), estas actividades son desarrolladas por el centro hospitalario.
- Ejecución de actividades netas de mantenimiento. - Está relacionado directamente con las actividades del mantenimiento, esta actividad es desarrollada por una empresa contratista

5.6.3.2 DAP Sistema Propuesto

En el Figura N°33 podemos observar que el sistema propuesto también está compuesto por tres sub sistemas:

- Actividades previas al mantenimiento. - Estas actividades consideran la identificación del tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo), estas actividades son desarrolladas por una empresa contratista.
- Actividades del área logística. - En este punto se tienen actividades que conciernen al requerimiento de los repuestos necesarios para realizar el mantenimiento (preventivo o correctivo), estas actividades a diferencia del modelo anterior son de responsabilidad mixta es decir realizadas por una empresa contratista, pero supervisadas por el centro hospitalario.
- Ejecución de actividades netas de mantenimiento. - Está relacionado directamente con las actividades del mantenimiento, esta actividad es desarrollada por una empresa contratista

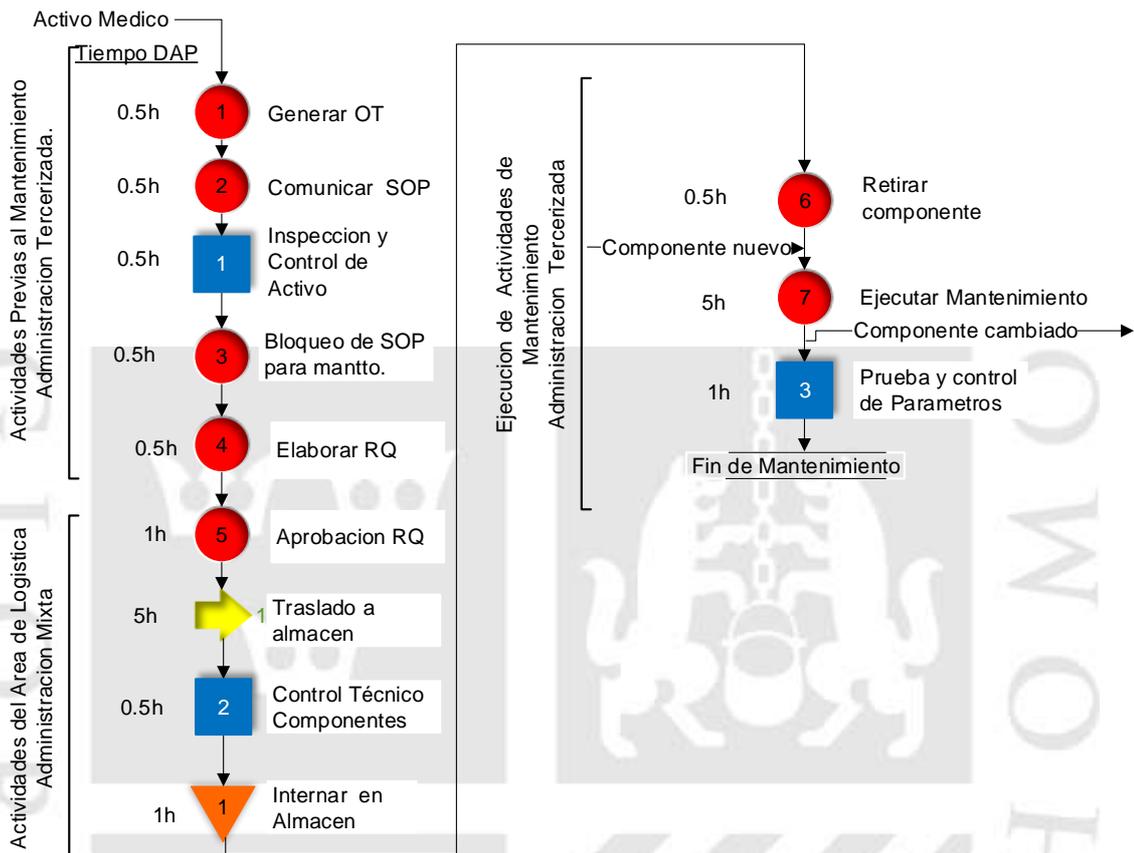


Figura N°32: Diagrama de Análisis de Proceso Sistema Propuesto.

Fuente: Elaboración propia

5.6.3.3 Comparación de Diagramas de Proceso

De la tabla N°37 podemos concluir lo siguiente:

- Se puede ver que las actividades previas al mantenimiento se mantienen iguales para ambos sistemas.
- Para las actividades de todo el proceso podemos ver que, realizando cambios en el tipo de contrato de mantenimiento, obtendríamos una reducción de tiempo de 120 horas, es decir que los tiempos para el modelo propuesto se reducirían en un 87.91%.
- Finalmente, para las actividades netas del mantenimiento (realizadas por la empresa Chejampi Biomedical SAC) podemos ver que en el modelo existente tarda en ejecutar el mantenimiento 63.5 horas mientras que en el modelo propuesto este sería realizado en 9 horas, logrando así una reducción de 54.5 horas (85.8%).

Actividades	SISTEMA ACTUAL		SISTEMA PROPUESTO		DIFERENCIA	
	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo
Almacenamiento	0	0h	0	0h	0	0
Operación	5	2.5h	4	2h	1	0.5h
Inspección	1	0.5h	1	0.5h	0	0h
Transporte	1	4h	0	0h	1	4h
Demora	0	0h	0	0h	0	0h
SUB SISTEMA N° 1	7	7 Hrs	5	2.5 Hrs	2	4.5
Actividades	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo
Almacenamiento	1	1h	1	1h	0	0
Operación	3	65h	1	1h	2	64h
Inspección	1	1 h	1	0.5h	0	0.5h
Transporte	1	6h	1	5h	0	1h
Demora	0	0h	0	0h	0	0h
SUB SISTEMA N° 2	6	73 Hrs	4	7.5 Hrs	2	65.5 Hrs
Actividades	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo	Cantidad	Tiempo
Almacenamiento	0	0h	0	0h	0	0
Operación	3	6h	2	5.5h	1	0.5h
Inspección	1	1.5 h	1	1h	0	0.5h
Transporte	1	4h	0	0h	1	4h
Demora	1	45h	0	0h	1	45h
Sub sistema N° 3	6	56.5 Hrs	3	6.5 Hrs	3	50 Hrs
SISTEMA TOTAL	19	136.5 Hrs	12	16.5 Hrs	7	120 Hrs

Tabla N°37: Comparación DAP Sistema Existente vs Propuesto.
Fuente: Elaboración propia

5.6.4 Simulación del proceso existente y propuesto

Con la finalidad de ver el comportamiento del sistema propuesto se realizará un modelamiento, así mismo aprovecharemos este modelo para realizar la comparación de ambos sistemas (existente / propuesto). La simulación de nuestro modelo será realizada con ayuda del software Arena.

5.6.4.1 Consideraciones para la simulación

- Los valores estadísticos son indicados en la tabla N°38.
- Los tiempos establecidos para el sistema existente fueron obtenidos a través de encuestas realizadas a nuestros especialistas, Ver Anexo C

(Entrevista a Técnicos Especialista en Mantenimiento de Activos Médicos).

- Los tiempos establecidos para el sistema propuesto son los mismos que fueron establecidos en el ítem 5.5.3.2 (Parámetros estadísticos y consideraciones alternativa N°2)
- Periodo de Simulación: 1 año (365días) con 14 horas de trabajo al día.
- Ingreso de pacientes: Está definido por una distribución Beta (β : 1.55, α : 2.64), de acuerdo a información entregada por el centro hospitalario.



5.6.4.2 Definición de parámetros estadísticos

Tabla N°38: Parámetros estadísticos de entrada.

Parámetros Estadísticos	SISTEMA EXISTENTE					SISTEMA PROPUESTO				
	Tiempo para realizar TMP (Hrs)	Tiempo de Entrega de Materiales (Min) TED	Tiempo de Adquisición de Materiales TADC (Hrs)	TTR (Hrs)	TTF (Hrs)	Tiempo para realizar TMP(Hrs)	Tiempo de Entrega de Materiales TED(Min)	Tiempo de Adquisición de Materiales TADC(Hrs)	TTR(Hrs)	TTF(Hrs)
Distribución	Normal	Normal	Normal	Weibull	Weibull	Normal	Normal	Normal	Weibull	Weibull
Media	7.15	41.02	72.95	64.6	1761.18	5.8	21.1	36.1	9.6	6300.0
Desviación Estándar	1.08	14.42	17.96	66.5	1411.22	0.6	7.5	16.4	6.1	3420.2
Mediana	7.04	41.02	67.58	43.7	1360.58	6.0	20.0	38.5	7.0	5040.0
Máximo	9.83	71.37	114.73	332.33	8055.83	7.0	35.0	63.0	22.0	15120.0
Mínimo	5.05	18.53	55.74	1.33	262.50	4.5	10	7	3	2520.0
Forma	0.00	0.00	0.00	0.970	1.10	0.00	0.00	0.00	1.0	0.9
Escala	0.00	0.00	0.00	63.63	1597.46	0.00	0.00	0.00	7.2	3939.1
Umbral	0.00	0.00	0.00	0.1415	217.49	0.00	0.00	0.00	2.5	2332.6

Fuente: Tomado de “Reporte proyecto del Sistema Existente y Sistema Propuesto”, del (Software Minitab, 2020, pp. 1,10)Software Minitab, 2020, p1,10. (Ver Anexo G)

5.6.4.3 Simulación del modelo de gestión existente

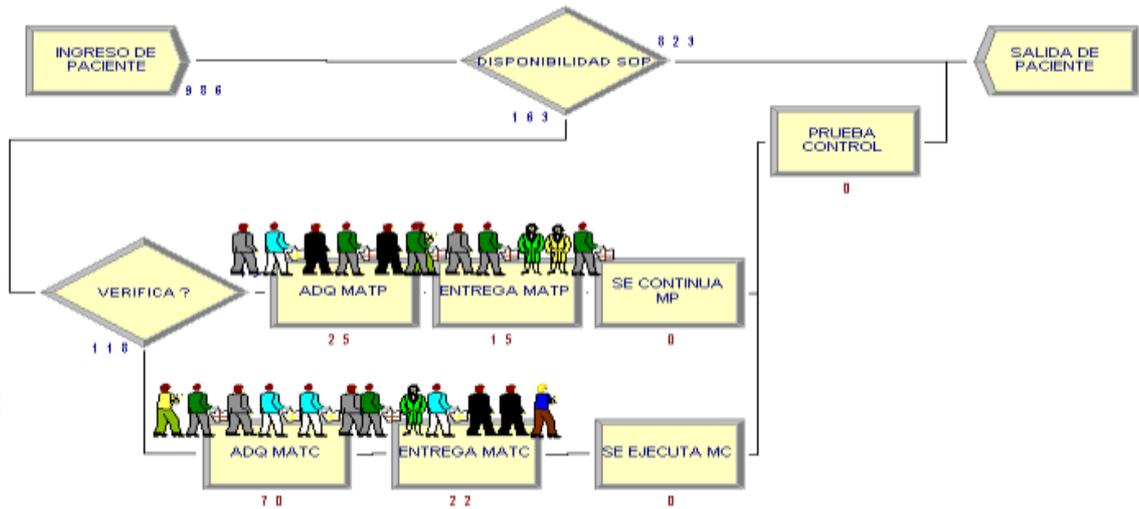


Figura N°33: Diagrama de simulación del modelo de gestión existente
 Fuente: Tomado de “Reporte de Indicador de Clave de Rendimiento del Sistema Actual”, (Software Arena, 2020, pág. 6). (Ver Anexo G).

5.6.4.4 Simulación del modelo de gestión propuesto

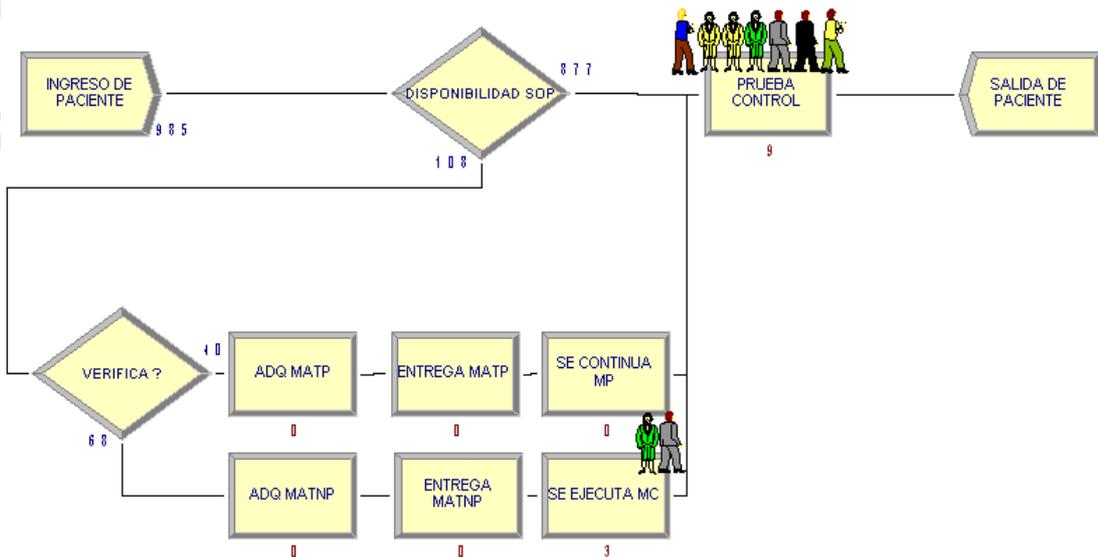


Figura N°34: Diagrama de simulación del modelo de gestión propuesto
 Fuente: Tomado de “Reporte de Indicador Clave de Rendimiento del Sistema Propuesto”, de (Software Arena, 2020, pág. 6). (Ver Anexo G).

5.6.4.5 Análisis de resultados de la simulación

Con los datos obtenidos de la simulación para ambos sistemas se procedió a elaborar la tabla N°39.

Tabla N°39: Resultado simulación de antes y después.

SIMULACIÓN DE MODELOS DE MANTENIMIENTO		
Sistema de Mantenimiento	Número de días	Pacientes atendidos
Actual (máquina de anestesia existente)	365	867
Propuesto (máquina de anestesia nueva)	365	996

Fuente: Tomado de “Reporte Indicador Clave de Rendimiento para el Sistema Existente y Sistema Propuesto”, del (Software Arena, 2020, p. 1). (Ver Anexo G)

De lo anterior podemos concluir que la relación que hay entre el sistema de mantenimiento propuesto y actual es de 1.14 esto indica que debido al cambio de proceso (modificación del contrato de mantenimiento) y la mejora de los indicadores de gestión (MTBF, MTTR y Disponibilidad) estaríamos aumentando la atención de pacientes en un 12.9%, es decir 129 pacientes más anualmente.

CAPÍTULO VI: VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

Para que nuestro proyecto de tesis sea incuestionable y puesto en práctica, deberá ser técnicamente viable y económicamente rentable.

6.1 Viabilidad Técnica

En el ítem 5.4 (Análisis Causa Raíz) se determina la causa raíz latente para el activo máquina de anestesia, en el ítem 5.5 (Determinación de la solución) se plantea las alternativas de solución y mediante la estimación del costo de ciclo de vida (LCC_{CAE}) se elige la alternativa de solución óptima, luego matemáticamente se establece el periodo de reemplazo óptimo (nueve años), en el ítem 5.6.1 (Indicadores de Gestión KPI) se demuestra técnicamente el mejoramiento del MTBF (13,687.77 Hrs), MTTR (7.57 Hrs) y la Disponibilidad (99.852%), finalmente el sistema propuesto es simulado y se logra visualizar la mejora del proceso lo cual se traduce en un aumento en la capacidad de atención de pacientes de 12.9% (129 pacientes).

6.2 Viabilidad Económica

Para demostrar que la alternativa de solución (determinada mediante el costo de ciclo de vida LCC_{CAE}) es económicamente viable procederemos a realizar el análisis de sensibilidad.

6.2.1 Definición de las variables de entrada y elección de distribución de probabilidades.

Para este análisis consideraremos como variables de entrada a los costos de inversión (I), Costos de operación (O), Costo de Mantenimiento (M), Costo por fallos (L), Costo de Depreciación, Costo Administrativos y logísticos.

A cada una de estas variables se les asocia una función de distribución de probabilidades de acuerdo al historial de datos con la que se cuenta.

6.2.2 Definición de las variables de salida.

En esta parte identificaremos los indicadores a pronosticar, para nuestro caso viene representado por el LCC_{CAE} .

6.2.3 Simulación del modelo.

Para proceder con la simulación del modelo se tiene la posibilidad de definir la cantidad de veces que se desea ejecutar la simulación, en nuestro caso se generaran 15000 escenarios, con ayuda del software Cristal Ball

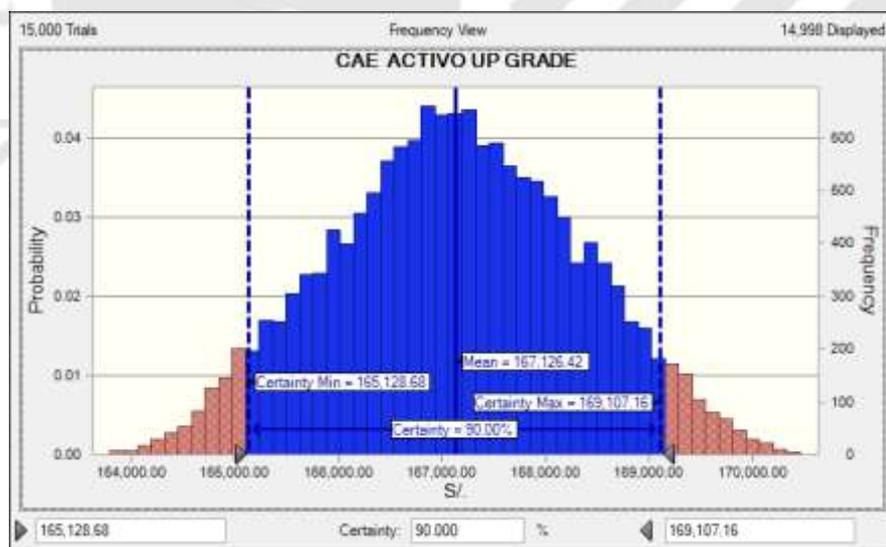


Figura N°35: Análisis de sensibilidad LCCCAE activo Up Grade

Fuente: Tomado de “Reporte de Pronóstico del proyecto del activo Up Grade/ Nuevo”, del (Software Crystal Ball, 2020, pág. 2). (Ver Anexo G)

Del Figura N°36, observamos un 90% de certeza de que el LCC_{CAE} involucrando la indisponibilidad para el activo actual se ubique entre s/.165,128.68 soles y s/.169,107.16 soles con una media de s/.167,126.42 soles.

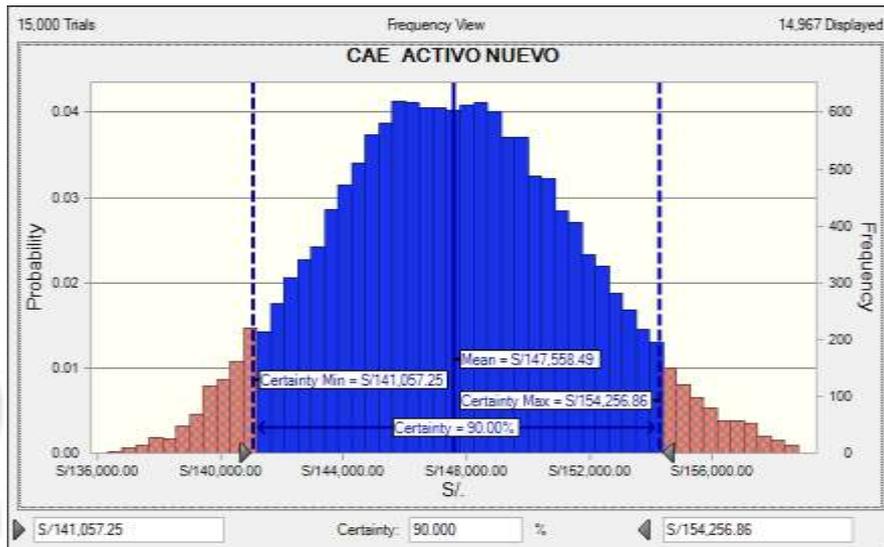


Figura N°36: Análisis de sensibilidad LCC_{CAE} alternativa de solución.

Fuente: Tomado de "Reporte de Pronóstico del proyecto del activo Up Grade/ Nuevo", del (Software Crystal Ball, 2020, pág. 1). (Ver Anexo G)

Del Figura N°37, observamos un 90% de certeza de que el LCC_{CAE} involucrando la indisponibilidad para el activo propuesto se ubique entre s/.141,057.25 soles y s/.154,256.86 soles con una media de s/.147,558.49 soles.

De los Figuras N°36 y N°37 se infiere lo siguiente:

Tabla N°40: Análisis de sensibilidad LCC_{CAE}

Escenario	LCC_{CAE} (Existente)	LCC_{CAE} (Propuesto)
Optimista	S/. 165,128.68	S/. 141,057.25
Normal	S/. 167,126.42	S/. 147,558.49
Pesimista	S/. 169,107.16	S/. 154,256.86

Fuente: Tomado de "Reporte de Pronóstico del proyecto del activo Up Grade/ Nuevo", del (Software Crystal Ball, 2020, págs. 1,2) .(Ver Anexo G)

De la tabla N°40 podemos concluir que la alternativa de solución es viable económicamente pues en los tres escenarios (optimista, normal y pesimista) se tiene un LCC_{CAE} con mejores expectativas que el LCC_{CAE} del sistema existente.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

1. Como consecuencia de lo expuesto en la presente tesis se demostró que si se podría mejorar el sistema de gestión de mantenimiento mediante el uso de la metodología centrada en la confiabilidad (RCM) para los equipos médicos custodiados por la empresa Chejampi Biomedical SAC. Para ello se aplicaron técnicas de análisis que deberán seguir la siguiente secuencia: Identificación del equipo crítico, análisis de los modos de falla y sus efectos, análisis causa raíz y finalizar con la alternativa de solución que será implementada en el equipo crítico.
2. Del mismo modo se determinó que la implementación de la metodología centrada en la confiabilidad (RCM) en los equipos médicos custodiados por la empresa Chejampi Biomedical SAC, influiría de manera positiva en los indicadores claves de desempeño (KPIs). El tiempo medio entre fallas (MTBF) pasaría de 807.76 horas a 13687.77 horas, el tiempo medio para reparar (MTTR) se reduciría de 65.26 horas a 7.57 horas, mientras que la disponibilidad (D) del equipo crítico (máquina de anestesia) pasaría de un 85.21% a un 99.85%.
3. Finalmente y de acuerdo a los resultados de disponibilidad indicados para el nuevo sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) se lograría un incremento en la capacidad de atención de pacientes en un 12.9% anualmente.

7.2 Recomendaciones

1. Se recomienda extender la metodología centrada en la confiabilidad a los demás equipos del centro hospitalario tales como, infraestructura, servicios auxiliares, ITID, entre otros.
2. Se recomienda tomar los lineamientos indicados en la presente tesis a fin de mejorar el nivel de desempeño del equipamiento médico en los centros hospitalarios atendidos por la empresa Chejampi Biomedical SAC, haciendo uso de los consejos y recomendaciones que dicta la metodología del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM).

7.3 Referencias bibliográficas

- Andrea Calvo, E., & Sierra Fernández, C. (2010). *Teoría General del Mantenimiento y la Fiabilidad*. Cantabria, España: Universidad de Cantabria.
- Barboza Arguedas, M. (2013). *Plan General Integral de Mantenimiento para la Infraestructura Física del Hospital Dr. Tomás Casas Casajús*. (Tesis de Postgrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Facultad de Ingeniería de Construcción, Costa Rica.
- Romero Lopez, E. (2012). *Estudio de Mejora de Mantenimiento Mediante la Aplicación de la Distribución de Weibull a un Historico de Fallos*. Madrid, España: Fundación UNED.
- Software Crystal Ball. (2020). *Reporte de Pronóstico del proyecto - Activo Up Grade/ Activo Nuevo*. Lima, Peru: Crystal Ball.
- Barringer, P. (1997). Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment. *8th Annual ENERGY WEEK Conference &* (pág. 22). Houston, Texas: American Petroleum Institute.
- Barringer,, P. B., & Weber, D. D. (2006). Life Cycle Cost Tutorial. *Gulf Publishing Company and HYDROCARBON PROCESSING*, 60.
- Bertram L, A. (2009). *Matemáticas de la Confiabilidad (Fundamentos, Prácticas y Procedimientos)*. Barcelona, España.: Reverte, s.a.
- Bravo Orellana, S. (2001). *La Vida Útil de un Activo y Políticas de Reemplazo de Activos*. Lima, Peru: Universidad ESAN.
- Cevallos Scudin, J. A. (2016). *La Infraestructura Hospitalaria Pública del Perú*. Lima, Perú: Congreso de la República.
- Chejampi Biomedical sac. (2018). *Informe de Control de Calidad IV- Trimestre 2018*. Lima, Peru: Chejampi Biomedical Sac.
- COCIR - European coordination committee of the radiological, electromedical and healthcare it industry. (9 de 11 de 2015). *Obsolescencia de un Producto Panitario*

segun COCIR. Obtenido de <http://lawebdeelectromedicina.com/2015/09/11/fin-de-vida-obsolencia-de-un-producto-sanitario/>

Department Of Defense . (2011). *Definitions Of Terms For Reability and Maintainability*. Washintong ,United States of America.: Department Of Defense - MIL -STD -721.

Dhillon B, S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Broken Sound NW, Suite 300, U.S.A: Editorial CRC Press.

Duran, J., Perdomo, J., & Sojo, L. (2010). Aplicacion de la Técnica "Optimizacion Costo-Riesgo". *The Woodhouse Partnership LTD.*, 3.

Escobar R, L. A., Villa D, E. R., & Yañez C, S. (2013). Confiabilidad: Historia, Estado del Arte y Desafios Futuros. *DYNA*, 21.

Fuenmayor, E. (2014). Calculando la frecuencia óptima de mantenimiento o reemplazo preventivo. *Caso de Estudio Basado en Métodos Y Normas Vigentes*, (pág. 14).

Fuentemayor, E., Sojo, L., & Duran, J. (2011). *Desicion de Reemplazo o Reparacion de Equipo de un Equipo "Caso de estudio Basado en Metodos y Normas Vigentes"*. Madrid, España: The Woodhouse Partnership Ltd.

García Urriaga, C. A. (2014). *Propuesta de un sistema de gestion de mantenimiento de una Clinica particular en la ciudad de Lima*. Lima: (Tesis de Pregrado) .Pontificie Universidad Catolica del Perú, Facultad de Ingenieria de Industrial, Perú.

Gonzalez, F. F. (1993). *Auditotía del Mantenimiento e Indicadores de Gestion*. Madrid, España.: FC Editorial.

IETSI - Instituto de Evaluación de Tecnologías en Salud e Investigación. (2019). *Vida util de los Equipos Medicos*. Lima: ESSALUD - Seguro Social de Salud.

Lobato Inca, F. G. (2015). *Elaboracion de un Modelo de Gestion de Mantenimiento en el Hospital Básico Baños*. Riobamba.: (Tesis de Postgrado) .Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ingenieria de Industrial, Ecuador.

MARINES, H. (2004). *Diseño e Implementacion de un Modelo de Gestion para el Mantenimiento Centrado en la confiabilidad de los equipos del Departamento de*

Electro Medicina de un Hospital. Caracas.: (Tesis de Pregrado) .Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingenieria de Industrial, Venezuela.

Ministerio de salud. (2006). *Diagnostico Fisico Funcional de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento*. Lima, Perú.: Ministerio de salud, Comision de Proyectos Hospitalarios del Perú.

Ministerio de Salud del Perú RIS N° 031- 2014-SA. (2014). *Reglamento de Infracciones y Sanciones del Ministerio de Salud*. Lima, Peru: RIS N° 031- 2014-SA.

Ministerio de Salud del Perú. (N°110-MINSA/DIGIEM-V.01). (2013). *Norma Técnica de Salud "Infraestructura y Equipamiento de los Establecimientos de salud 1-II, 2-II y 3"*. Lima, Perú.: N°110-MINSA/DIGIEM-V.01.

Ministerio de Salud del Peru. (2014). *Norma Tecnica de salud - Infraestructura y Equipamiento de los establecimientos de salud Segundo Nivel de Atencion*. Lima: Minsa.

Ministerio de salud del Peru., M. (2014). *Guia tecnica para la Categorizacion de establecimiento del sector de Salud*. Lima, Peru: Minsa.

Miranda González, F. J., Chamorro Mera, A., & Rubio Lacoba, S. (2007). *Introducción a la gestión de la calidad*. Madrid, España: Delta Publicaciones.

Monchy, F. F. (2009). *La Funcion de Mantenimiento*. Rio de Janero, Brazil.: Editora Duran.

Mourbray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. North Carolina, USA.: Aladon LLC.

Murillo M, W. (2014). confiabilidad y análisis estadístico para la predicción de fallas, seguridad, supervivencia, riesgo, costo y garantías de los equipos. *RCM Ingenieria.*, 14.

Navarro Diaz, J. (2004). *Técnicas de Mantenimiento Industrial*. Madrid, España: ALCION.

Omar Campos, G. T. (2018). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos.

- Organización Mundial de la Salud. (2012). *Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos*. 20 Avenue Appia, 1211, Suiza: Departamento de Tecnologías Sanitarias Esenciales.
- Rivera Rubio Lazaro, E. M. (2011). *Sistema de Gestion del Mantenimiento Industrial*. Lima: (Tesis de Pregrado) .Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingenieria de Industrial, Perú.
- Scientia Et Technica. (2006). *La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, Disciplinas Modernas Aplicada al Mantenimiento*. Pepeira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Software Arena. (2020). *Informe de Indicador Clave de Rendimiento del Sistema Existente*. Lima, peru: Arena.
- Software Arena. (2020). *Informe de Indicador Clave de Rendimiento del Sistema Propuesto*. Lima, Peru: Arena.
- Software Minitab, .. (2020). *Informe Parametros Estadisticos Minitab para el Sistema Up Grade*. Lima: Minitab.
- Software Minitab. (2020). *Informe de Parametros Estadisticos del Sistema Propuesto*. Lima: Minitab.
- Software Raptor 4.0. (2020). *Reporte de Indicadores de Desempeño de Gestion de Mantenimiento - Sistema Propuesto*. Lima, Peru: Raptor 4.0.
- Software Raptor 4.0. (2020). *Reporte Indicadores de Desempeño de Gestion de Mantenimiento- Sistema Existente*. Lima, Peru: Raptor 4.0.
- Software Raptor 4.0. (2020). *Reporte de Indicadores de Desempeño de Gestion de Mantenimiento - Sistema Up Grade*. Lima, Peru.: Raptor 4.0.
- Universidad Pemex. (2007). Analisis de Modo de Falla y sus Electos. *Sistema de Confiabilidad Operacional*, 25.
- Universidad Pemex. (2007). Metodología de Análisis Causa Raíz (ACR). *Sistema de confiabilidad Operacional*, 20.

Universidad Pemex. (2007). Metodología de Análisis de Criticidad (AC). *Sistema de Confiabilidad Operacional*, 22.

