

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0023>

SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD. CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA EMPRESA DIALILIFE

RELIABILITY BASED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM. CASE STUDY: DIALILIFE COMPANY WATER TREATMENT PLANT

Alvarado-Betancourt Edison Javier ¹; Sabando-Piguabe Luis Felipe ²

¹ Maestrante de Investigación en Mantenimiento Industrial, Mención Gestión Eficiente del Mantenimiento / Instituto de Posgrado / Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador. ealvarado9426@utm.edu.ec, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2917-0575>

² Docente del Instituto de Posgrado y Docente de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador. luis.sabando@utm.edu.ec, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7492-7472>

Resumen

Un sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad operativa se fundamenta en el proceso de mejora de los indicadores de mantenimiento técnico, en el cual, se aplica un modelo de gestión por etapas, desarrollado y ejecutado según las condiciones actuales de la planta, con el fin de optimizar los procesos de planificación, programación y ejecución del mantenimiento a nivel preventivo. El empleo de una metodología que permita evaluar las variables inherentes y las características operacionales del sistema permite aumentar el rendimiento de la unidad de mantenimiento, al realizar un tratamiento integral de la gestión de activos y gestión organizacional para un real tratamiento del plan de mantenimiento. Este proceso de evaluación se lo realizó mediante un análisis con metodología RAM, la cual permite establecer el comportamiento la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad como indicadores técnicos de gestión en función de los requerimientos de producción volumétrica de agua tratada para los centros hospitalarios como la empresa DIALILIFE S. A. que, mediante el procesamiento de los datos obtenidos de las evaluaciones sistemáticas, logró establecer un modelo teórico enfocada la mejora continua, y así mismo, establecer la incidencia de la aplicación de la gestión, con las mejoras los tiempos promedios entre fallas "TPEF", los tiempos promedios para reparar "TPPR" y disminuir el número paradas programadas o no programadas de planta, como aporte fundamental al aumento de la confiabilidad de los equipos de la planta de tratamiento de agua.

Palabras clave: Confiabilidad operativa, gestión de mantenimiento, mantenibilidad, disponibilidad.

Abstract

A maintenance management system based on operational reliability is based on the process of improving technical maintenance indicators, in which a management model is applied in stages, developed and executed according to the current conditions of the plant, in order to optimize the planning, scheduling and execution of preventive maintenance processes. The use of a methodology that allows evaluating the inherent variables and the operational characteristics of the system, allows to increase the performance of the maintenance unit, by carrying out a comprehensive treatment of asset management and organizational management for a real

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 03 de mayo de 2021.

Fecha de aceptación: 08 de junio de 2021.

Fecha de publicación: 09 de julio de 2021.

treatment of the maintenance plan. This evaluation process was carried out through an analysis with RAM methodology, which allows establishing the behavior of maintainability, reliability and availability as technical management indicators based on the volumetric production requirements of treated water for hospitals such as DIALILIFE. SA that, by processing the data obtained from the systematic evaluations, managed to establish a theoretical model focused on continuous improvement, and likewise, establish the incidence of the application of the management, with the improvements in the average times between failures "TPEF", the average times to repair "TPPR" and reduce the number of scheduled or unscheduled plant shutdowns, as a fundamental contribution to increasing the reliability of the water treatment plant equipment.

Keywords: Operational reliability, maintenance management, maintainability, availability.

1. Introducción

Actualmente las estrategias de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad permiten a los sistemas de planta, garantizar disponibilidad de los activos fijos, manteniendo los indicadores de gestión en niveles óptimos bajo las condiciones y estándares requeridos. En el caso de los centros hospitalarios como la empresa DIALILIFE que ofrecen servicios de hemodiálisis a pacientes que padecen de insuficiencia renal crónica, es indispensable que, la Planta de Tratamiento de Agua que posee, garantice su suministro.

Para el proceso de planificación, control y evaluación del mantenimiento, fue necesario establecer una metodología de gestión que permita mantener la funcionalidad del sistema; misma que, analizó los aspectos técnicos, tecnológicos, organizacionales, económicos y humano, bajo las

premisas de la mejora continua. La ejecución de las actividades de mantenimiento mediante la implementación de un modelo de gestión en un tiempo de 6 meses permitió medir sus indicadores, cuya etapa de observación tomo como referencia los datos obtenidos de mediciones mensuales por medio de un análisis cuantitativo de los tiempos promedios entre fallas y los tiempos promedios para reparar, esto con el fin de determinar la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad.

Los aspectos teóricos, metodológicos y los resultados propios de esta investigación, se exponen en tres capítulos como resultados del proceso investigativo que evaluó la implementación de la gestión de mantenimiento fundamentada en la confiabilidad, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas para determinar la criticidad y los índices de

mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad mediante un análisis RAM, que expone la mejora de los indicadores de desempeño de planta; convirtiéndose en una solución viable, como respuesta, al problema de investigación y los objetivos planteados en presente investigación.

La Gestión de Mantenimiento en los equipos médicos se hace cada vez más importante en el mundo debido al aumento en la demanda de servicios médicos hospitalarios, a los altos costos de la tecnología médica, a su constante crecimiento y evolución, a la necesidad de mejorar procesos para ser más competitivos y el requerimiento de aumentar la seguridad del paciente y del usuario del equipo (How to organize the maintenance of your healthcare technology., 2005).

La seguridad del tratamiento de diálisis tiene como uno de sus determinantes la calidad de agua en la preparación de la solución para diálisis en los servicios de nefrología (Ojeda M & Fretes, 2016); este tipo de estudios permiten establecer técnicas de diagnóstico para este tipo de servicios y evaluar el

desempeño del mantenimiento, para mejorar del proceso de mantenimiento en los servicios de hemodiálisis, evaluando las órdenes de trabajo, analizar el desempeño del mantenimiento, implementar técnicas de diagnóstico, analizar la información y recomendar mejoras sistemáticas (Fernández & Zaballa, 2009).

La calidad del agua con el cual se abastecen las máquinas de hemodiálisis es importante para que sean mínimas las reacciones secundarias del tratamiento que se aplica en el paciente y este llevar una vida normal cuando se encuentre desconectado de la máquina. La mala calidad del agua puede acelerar el padecimiento de un paciente con insuficiencia renal que es tratado con el mismo, ya que ésta puede contribuir a la aparición de un infarto, derrame cerebral y otras complicaciones en su salud.

La confiabilidad de un sistema y sus componentes son muy importantes si queremos conocer la confiabilidad de los activos; la confiabilidad operacional, está definida por la capacidad de una organización para cumplir sus funciones de manera

óptima (Gasca, Camargo, & Medina, 2017); donde de manera amplia en los casos relacionados la elaboración de los planes y programas, solución de problemas, la determinación de las actividades, la disposición, alcance y la frecuencia óptima de paradas (Sarmiento Melendez, 2017); donde los factores a considerar para predecir la confiabilidad de componentes es la tasa de fallo, naturaleza y distribución del fallo, número de horas de funcionamiento de los equipos; en función de los requerimiento de los que depende los usuarios cuándo se utilicen el activo en su contexto operacional (Hung, 2009); manteniendo los valores de confiabilidad dentro de los estándares exigidos dentro de la norma ISO 9001-2015 llegar a más del 98%.

Para una propuesta de mantenimiento basada en preservar la función del equipo en su contexto operacional, este debe considerar que debe preservar (Farfan Bareño, 2017); así se establecen frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo a fin de prever que optimicen el uso de los recursos humanos y materiales

requeridos para el mantenimiento (Pinos Guillén, 2016); permitiendo realizar la gestión de recursos materiales y talento humano a través de actividades programadas a corto o largo plazo (Huerta & Eduardo, 2007); donde las operaciones de mantenimiento se realizan sobre una máquina manteniendo óptimas condiciones de funcionamiento en beneficio que pueda dar la empresa (Jesús & José, 2017); estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento (Granizo Rodríguez, 2016).

El cumplimiento de un plan de mantenimiento se enfoca la optimización de los tiempos dentro de la planta, reduciendo el número de paras no programadas al contar con el personal capacitado para el monitoreo y control del plan, el aprovisionamiento y stock de insumos, materiales y repuestos con el fin de aumentar la confiabilidad, planificando las actividades de mantenimiento y su frecuencias deberán estar introducidas en el desarrollo de un plan (Llamuca Llamuca, 2017); esta planeación

comprende ciertos aspectos como la elaboración de una orden de trabajo, lista de materiales y repuestos, mano de obra, tiempo de trabajo (Mantilla Rivera & Morales González, 2017).

El mantenimiento conecta el sistema administrativo de las organizaciones con una mezcla de actividades técnicas y administrativa para mantener equipos, instalaciones y otros activos fijos (Muchiri, Pintelon, Gelders, & Martin, 2011); estas actividades coinciden en su carácter estratégico, que incrementa la competitividad de la organización (Ahuja & Khamba, 2008); con la finalidad de reducir el tiempo de paradas, de reparación y la garantizar la funcionabilidad (Tavares Lourival, 1999).

En el contexto hospitalario de segundo nivel se han encontrado estrategias moderadamente intensivas, y deben de enfocarse a un nivel estratégico de mejores alcances; estas estrategias deben de ser planificadas y organizadas (Pérez González, Sánchez Marín, & Rodríguez Cervantes, 2007); siendo estas un método de gestión utilizado para lograr los objetivos del mantenimiento (Granizo Rodríguez,

2016); que implementa un plan es un patrón coherente con en el tiempo (Carrión Maroto, 2007, p. 28); donde la estrategia no es la misma para los distintos departamentos de una organización Carrión Maroto (2007, p. 31)

Es necesario tener en cuenta que el éxito del trabajo que se ejecuta en mantenimiento no depende solo de la cantidad de recursos o financiamiento que se le asigne, (Herrera Galán & Yoenia Duany, 2016); de aquí que para alcanzar los estándares de calidad de mantenimiento de activos se sustentan en el mantenimiento organizado, eficiente y desarrollado que garantice a un costo competitivo la disponibilidad de sus activos productivos (Fernández Sánchez & Shkiliova, 2012). Toda empresa que desee mantenerse competitiva tiene, indispensablemente, que dirigir y prestarle una especial atención al mantenimiento de su equipamiento (Hernández Cruz & Navarrete Pérez, 2001); estos indicadores de rendimiento de mantenimiento se sustentan en tres pilares, a saber: los parámetros RAM: Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad, el modelo de costes y el

factor humano (Galar, Berges, Lambán, & Tormos Martínez, 2014).

Con el fin de establecer una gestión de mantenimiento, que garantice un elevado índice de disponibilidad de los activos fijos para la prestación de bienes y/o servicios en función de la confiabilidad, se debe operar con las condiciones tecnológicas exigidas en el estándar ISO 9001.2015, permitiendo establecer un modelo de gestión de mantenimiento objetivo de mejorar las prácticas de responsabilidad corporativa en empresas del sector público y privado, producir valor agregado desde la producción y el consumo sostenible de bienes y servicios (De Bona, 1999); haciendo uso racional de los recursos naturales, prevenir riesgos y peligros que afecten la salud humana y el medio ambiente, e incrementar la productividad y la competitividad en las empresas (Orozco Murillo, Benjumea, García Gómez, & Rodas, 2017). Sin embargo, hoy en día la competitividad y sostenibilidad en el mercado también requieren optimizar los costos del ciclo de vida de los activos físicos en los diversos sectores de la sociedad (Sánchez Rodríguez, 2010).

La empresa Diálisis y Servicios DIALILIFE S.A. es un centro hospitalario que ofrece servicio de tratamientos de hemodiálisis a pacientes que padecen enfermedades terminales de insuficiencia renal crónica, para poder garantizar la calidad del servicio tanto en equipamiento médicos, tecnológicos, climatización, generadores eléctricos, y planta de tratamiento de agua e infraestructura la unidad cuenta con un departamento de mantenimiento el cual está conformado por el coordinador de mantenimiento de cada clínica, técnico eléctrico, técnico civil, técnico de plantas de agua y técnico biomédico. Dentro de esta área existen algunas deficiencias debido a que no se lleva un control de verificación a la planificación y gestión integral eficiente del mantenimiento, esto establece la importancia de mejorar el sistema de mantenimiento existente en la unidad renal mencionada para conseguir en los equipos e instalaciones médicas mayor fiabilidad y disponibilidad, es trascendental también actualizar el modelo de gestión de mantenimiento para que cumpla las nuevas

exigencias del Ministerio de Salud Pública, buscando garantizar la calidad en los servicios de salud ofertados, a través de procesos adecuados y estandarizados de mantenimiento hospitalario.

2. Materiales y métodos

Establecer una gestión de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad que permita optimizar los tiempos operativos de los equipos componentes del sistema de tratamiento de agua para una Unidad de Hemodiálisis [UHD], permite redirigir los recursos asignados a

estas unidades mediante un tratamiento con enfoque en la mejora continua. El comportamiento de los indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad y las variables que los afectan son estudiados mediante un análisis RAM, se establece un ciclo PHVA de la ISO 9001:2015 [Tabla 1] para asegura que los procesos se gestionen de forma oportuna y alcanzar resultados positivos en base a los objetivos propuestos con un enfoque dinámico retroalimentado para efectos de una mejora continua.

Tabla 1. Ciclo PHVA.

CICLO [PHVA]	ACTIVIDADES
<p>Planear</p>	<p>Definición del objetivo General y los objetivos específicos específico de implementar la Gestión de Mantenimiento Preventivo a de la empresa DIALILIFE.</p> <p>Identificar los requerimientos de la unidad de mantenimiento que peritan a la empresa alcanzar los volúmenes de tratamiento de agua requeridos para los procesos de hemodiálisis.</p> <p>Definir los protocolos y hojas de rutas requeridos para implementar una gestión de mantenimiento preventivo a los activos de planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE</p> <p>Definir recursos y términos para la aplicación de la gestión de mantenimiento preventivo en un periodo de 6 meses.</p> <p>Determinar cuál será la metodología aplicada para medición, control y evaluación de las variables.</p>
<p>Hacer</p>	<p>Implementar actividades de mantenimiento preventivo con base a los objetivos de la Gestión Integral de Mantenimiento.</p> <p>Elaborar una histórico de fallos que permita verificar la disponibilidad operacional y la confiabilidad operacional del sistema con base en la aplicación de la gestión de mantenimiento.</p> <p>Diseñar y aplicar mecanismos de control y evaluación de los indicadores de gestión en base a la aplicación de la gestión de manteniendo.</p> <p>Presentar informes de análisis RAM.</p>

Verificar	El comportamiento de los indicadores de la gestión de mantenimiento mediante evaluando las variables que intervienen en el proceso.
Actuar	Implementar acciones correctivas en base al proceso de mejora continua que permita alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación.

Nota: La presente tabla muestra en la metodología PHVA [Planear, Hacer, Verificar y actuar] aplicada en el programa general de investigación.

Para un sistema en serie es fundamental para mantener un alto índice de la disponibilidad, recolectar y analizar los datos con instrumentos de medición a fin de determinar los índices de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los ítems componentes del sistema durante 6 meses estima el comportamiento del sistema en relación a índice de la tasa de fallos, la ocurrencia de paros imprevistos y la vida útil de los activos con evaluación total del sistema.

3. Instrumentos

Para la correcta aplicación de una metodología de gestión de mantenimiento preventivo, cuyos indicadores deberán ser evaluados mensualmente a fin de obtener información que permita optimizar el proceso de tratamiento de agua con énfasis en el índice de confiabilidad operacional bajo un concepto de mejora continua, se debió implementar una Metodología de Análisis RAM que permita una

evolución directa de la incidencia que hubiera tenido la gestión mensualmente y el comportamiento de la totalidad del sistema en lo referente a su confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad y el aporte de la misma al efecto económico permite establecer un modelo de gestión basado en la confiabilidad dentro de un esquema proceso cíclico sistemático de mejora continua, repartido en 6 fases:

- Fase 1: Dedicación de los objetivos y estrategias del mantenimiento de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE;
- Fase 2: Identificación y clasificación de los sistemas, subsistemas y equipos que integran la planta de componentes función y características;
- Fase 3: Análisis de criticidad de los elementos más relevantes del sistema;

- Fase 4: Aplicación de la Gestión de mantenimiento con afectación directa al talento humano, recursos, materiales, estrategias y métodos para las actividades de mantenimiento;
- Fase 5: Evaluación sistemática y periódica de forma mensual mediante análisis RAM para conocer la incidencia de la gestión de mantenimiento en función de sus indicadores de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad;
- Fase 6: Aplicación de estrategias de mantenimiento para optimizar recursos y mantener una retroalimentación adecuada bajo el concepto de mejora continua a fin de obtener la confiabilidad operacional deseada.

AMEF de los activos componentes del sistema de tratamiento de agua

El Análisis de criticidad es una herramienta cuya metodología que permite establecer la probabilidad de que las instalaciones, sistemas, subsistemas y equipos se encuentren en un riesgo potencial que impidan cumplir la funciones para las

que fueron asignada, facilitando la toma de decisiones y el direccionamiento del mantenimiento para las áreas estratégicas.

Este sistema establece los rangos probables y/o la frecuencia de ocurrencia de eventos y sus consecuencias expresadas en una matriz con base en un código de colores que denota la intensidad del riesgo cuyo cálculo matemático del riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión:

$$R(t) = P(t) \times C(t) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

R[t] = riesgo en función del tiempo;

P[t] = probabilidad de ocurrencia de una falla;

C[t] = consecuencias de la falla;

Para el cálculo de la criticidad de los activos se estima el producto de la probabilidad de ocurrencia de un fallo con suma de las consecuencias de estos, estableciendo el rango de valores de los criterios evaluados se aplica una metodología semi-cuantitativa para dimensionar el riesgo y establecer prioridades aplicando la siguiente ecuación.

$$CTR = FF * IO \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

$CTR = \text{criticidad};$

$FF = \text{frecuencia de fallos};$

$IO = \text{impacto operacional}.$

Siendo esta ecuación proporcional a:

$$R = FF * C \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

$R = \text{riesgo};$

$FF = \text{frecuencia de fallos};$

$C(t) = \text{consecuencias de la falla}.$

Considerando así que el Impacto proporcional a la Consecuencia es siempre proporcional a la Frecuencia del Fallo y la Consecuencia de un fallo es proporcional al Impacto; por lo tanto, el riesgo es proporcional a la criticidad, teniendo como resultado:

$$CTR = FF * C \quad \text{Ecuación 4}$$

Metodología de análisis RAM

Como parte del desarrollo del Plan Estratégico de Gestión de Activos o PEGA, se realizó un análisis RAM, a fin de conocer cuál es el factor de servicio de la instalación mediante un historio de fallos, determinando así los índices de mantenibilidad y disponibilidad de los activos

apoyados en los diagramas de bloque de confiabilidad, enfoque directo en la criticidad componentes de la planta como factor intrínseco de la Ingeniería de Confiabilidad.

El factor de servicio evidenciado en los tiempos de reparación [Tr] y los tiempos de funcionamiento [Tf] inciden de manera directa en los tiempos de recuperación [TR] y los tiempos operativos [TO] en función de los tiempos de reparación el número de mantenimientos [m] las cuales fueron desarrolladas mensualmente cada sistema por la unidad de mantenimiento a según el escenario actual de la organización en los tiempos de procesos asociados a la planificación y programación para su ejecución.

Con la finalidad de determinar los valores de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los ítems componentes de la planta fue necesario realizar el cálculo de los tiempos medios para reparar [MTTR] y el tiempo medio entre fallos [MTBF], los cuales dependen de tiempo la suma de los tiempos de reparación [Tr] y los tiempos de funcionamiento [Tf].

Tiempo Operativo

$$T_{operativo} = \frac{Tr}{m} \text{ horas/fallos} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde:

Tr: tiempo real de trabajado (horas)

m: cantidad de fallos de la maquina en un tiempo *t*.

Tiempo medio de recuperación de la capacidad de trabajo.

$$T_{recuperación} = \frac{Tf}{m} \quad \text{Ecuación 6}$$

donde:

Tf: tiempo de parada por fallas en un tiempo *t* (horas)

m: cantidad de fallos de la maquina durante un tiempo *t*.

El tiempo medio entre fallos

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n} \quad \text{Ecuación 7}$$

Siendo este una medida de confiabilidad expresada en días y su inversa μ conocida como tasa de reparación que expresa en número de reparaciones en un tiempo *t*.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad \text{Ecuación 8}$$

Confiabilidad.

$$R(t) = e^{-\lambda * t} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde

λ = frecuencia con la que se presentan los fallos en los

componentes en un tiempo *t* y es la inversa del MTBF expresada por la ecuación:

$$R(t) = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} \quad \text{Ecuación 10}$$

Para el cálculo de la confiabilidad de un sistema en serie en el cual los sistemas y subsistemas están dispuestos uno a continuación del otro, la confiabilidad se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$R = e^{(-\lambda_1 * t - \lambda_2 * t - \lambda_3 * t)} \quad \text{Ecuación 11}$$

El tiempo medio de reparación

El tiempo medio de reparación se expresada en días y su inversa μ conocida como tasa de reparación que es el número de reparaciones en un tiempo *t* y se define por la siguiente ecuación:

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad \text{Ecuación 13}$$

Mantenibilidad

Siendo este un el indicador que permite estimar el tiempo total en el cual un ítem pueda repararse con un porcentaje fijo de fallos.

$$M = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t} = e^{-\mu * t} \quad \text{Ecuación 14}$$

Disponibilidad

Como indicador de gestión de mantenimiento y relacionado

estrechamente con la confiabilidad, su estudio se debe hacer a profundidad estimando para ello.

Cálculo de la disponibilidad de n ítems.

$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$$

Ecuación 15

Disponibilidad Genérica sin mantenimientos preventivos- AG

$$A_G = \frac{\text{Media de los tiempos útiles con funcionamiento}}{\text{Media de tiempos útiles} + \text{Media de tiempos de no funcionalidad}}$$

$$A_G = \frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{\sum_{i=1}^m UT_i + \sum_{j=1}^m DT_j}$$

Ecuación 16

Donde:

UT: tiempos útiles;

DT: tiempos en que la máquina ni funciona ni produce, asumiendo que no hay acciones planeadas MP;

m: número de eventos de UT;

n: número de no funcionalidades DT.

Disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos

$$A_G = \frac{\text{tiempos funcionamiento}}{\text{tiempo en que puede operar}}$$

$$= \frac{TT \sum PM + \sum DT}{TT + \sum PM}$$

$$Disponibilidad genérica = A_G = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$A_G = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \text{Ecuación 17}$$

Cuya aproximación se define como:

$$D_{inherente} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Ecuación 18}$$

Disponibilidad inherente o intrínseca – A_I

$$Disponibilidad inherente = A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Ecuación 19

Tiempo medio entre mantenimientos

Para el índice de confiabilidad Tiempo medio entre mantenimientos [MTBM], como ausencia de un mantenimiento preventivo se aproxima al índice de tiempo medio de ente fallos [MTBF] dado a lugar a un indicador de frecuencia de los mantenimientos en un tiempo [t]; en relación a la frecuencia de los mantenimientos planeados y no planeados dentro de la planta.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

Ecuación 20

$$M = \frac{\frac{MTBM}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

Ecuación 21

Disponibilidad alcanzada – A_A

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM+M} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

$MTTR =$ tiempo medio para realizar tareas de reparaciones;

$MP =$ tiempo medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimientos planeados.

$Mc =$ tiempo medio de mantenimiento activo que se requiere para realizar una tarea de mantenimiento correctivo.

Donde:

$MTBM =$ tiempo medio entre mantenimientos

$M =$ tiempo medio de mantenimiento.

Disponibilidad Operacional – D_o – A_o

$$\text{Disponibilidad Operacional} = A_o = \frac{MTBM}{MTBM+M}$$

Ecuación 23

Antecedentes de la solución y estado actual de la del factor económico.

La toma de la data permitirá obtener información que determine la metodología que pueda otorgar una máxima de la productividad como resultado de la propuesta de gestión de mantenimiento con ajuste directo al Costo Total en dólares de las mejoras aplicadas:

$$CT = \sum CT_{MEJORAS} = CT_1 + CT_2 + CT_3$$

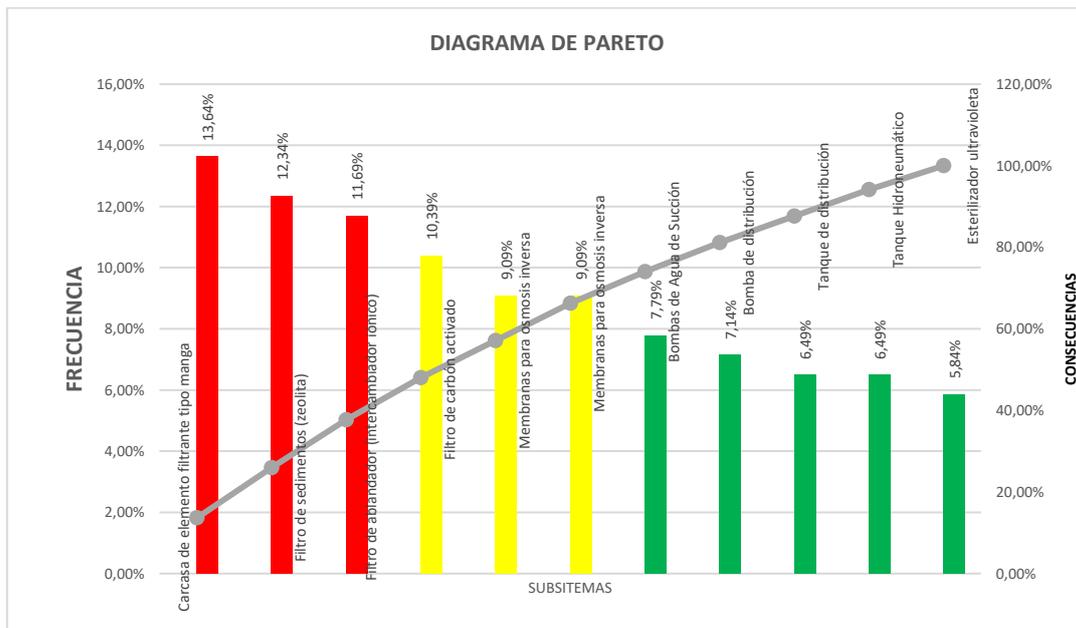
Ecuación 24

4. Resultados y discusión

Jerarquización de la criticidad del ítem del sistema.

Una vez que se ha definido el valor de la criticidad de cada activo de planta que han sido sujeto de este estudio, se coloca en la misma matriz los valores de la criticidad en los que se encuentra los equipos de acuerdo a los datos obtenidos

Figura 1. Diagrama de Pareto.



Nota: La presente tabla de asignaciones de criterios por ítem en un período de 6 meses. *Elaboración Propia.*

Análisis de los resultados de criticidad

El identificar los activos cuyos índices reflejan un alto nivel de criticidad permitió destinar los recursos y dirigir los esfuerzos a estos sistemas, al definir acciones concretas que mitiguen los impactos asociados al riesgo crítico. En la

gráfica se puede observar como en la gráfica el porcentaje de criticidad de los sistemas de la planta en el nivel de procesos en donde el 44,87 % de la criticidad sistema de llenado, el 32% se encuentra en el sistema de lavado, el 20,51% está en el sistema de purificación de agua y el 2,56% restante se deposita en el sistema de distribución de agua.

Tabla 2. Matriz de criticidad.

Frecuencia	12	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
	11	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
	10	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
	9	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	8	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	7	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	6	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

	5	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	4	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	3	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		Consecuencia									

Nota: La presente tabla muestra la matriz de criticidad de los equipos compone.

Análisis RAM posterior de la implementación de la gestión de mantenimiento

En la fase de implementación de la gestión de mantenimiento enfocada en la confiabilidad del fue necesario evaluar mensualmente el comportamiento del sistema para establecer la incidencia de la

gestión. El incremento en los indicadores cuya estimación se ve reflejada en el siguiente estudio que evalúa y controla las tareas proactivas de mantenimientos planeados combinándolos con estrategias de mantenimiento correctivo durante el periodo septiembre 2020 –febrero 2021

Tabla 3. Indicadores para realizar el análisis RAMS de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021.

HISTORICO DE FALLOS							
SISTEMAS	INDICADOR	MESES					
		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Carcasa de elemento filtrante tipo manga	Tf [h]	20	20	20	22	20	20
	Tr [h]	96	115	115	120	120	120
	M [u]	3	3	3	2	2	2
Filtro de sedimentos (zeolita)	Tf [h]	10	10	10	20	20	20
	Tr [h]	92	110	115	110	120	120
	M [u]	3	3	3	2	2	2
Filtro de ablandador	Tf [h]	20	20	22	30	20	20
	Tr [h]	95	100	120	120	130	140
	M [u]	3	3	2	2	2	2
Filtro de carbón activado	Tf [h]	20	20	20	10	15	10

	Tr [h]	100	110	120	120	120	130
	M [u]	3	3	3	3	2	2
Membranas para osmosis inversa	Tf [h]	10	20	20	10	20	10
	Tr [h]	100	100	120	120	130	140
	M [u]	3	3	3	2	2	3
Membranas para osmosis inversa	Tf [h]	10	20	20	20	20	10
	Tr [h]	120	100	120	140	140	140
	M [u]	3	3	3	3	2	2
Bombas de Agua de Succión	Tf [h]	20	20	20	20	20	10
	Tr [h]	100	100	120	140	140	150
	M [u]	3	3	3	2	2	2
Bomba de distribución	Tf [h]	20	20	20	20	20	20
	Tr [h]	110	110	140	140	150	150
	M [u]	3	3	3	3	2	2
Tanque de distribución	Tf [h]	20	20	20	20	30	20
	Tr [h]	110	120	130	140	150	150
	M [u]	3	3	3	3	2	2
Tanque Hidroneumático	Tf [h]	10	10	10	20	20	20
	Tr [h]	120	110	130	150	150	150
	M [u]	3	3	3	2	3	2
Esterilizador ultravioleta	Tf [h]	10	10	5	5	5	2
	Tr [h]	120	130	140	150	150	158
	M (u)	3	3	3	2	2	2

Nota: La presente tabla muestra los indicadores aplicados al análisis RAM a los activos de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021. Elaboración propia.

Los tiempos de recuperación, los tiempos de funcionamiento y el número de mantenimientos correctivos o planeados [tabla 17], permitirían definir cuáles son los índices de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad del sistema durante la implementación

de la gestión de mantenimiento preventivo con enfoque en la confiabilidad bajo un concepto de mejora continua. Los tiempos operativos y los tiempos activos de reparación [tabla 18], permitirán el valor de los tiempos medios efectivos.

Los Tiempos medios de reparación y los tiempos medios entre fallos permite calcular la mantenibilidad, las disponibilidades y la confiabilidad del sistema, Los valores expuestos en la tabla 18 reflejan un incremento general de los tiempos operativos; estos parámetros establecen la

variación existente entre los tiempos medios andes, durante y después de implementar la gestión de mantenimiento preventivo en la planta DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021 [tabla 19].

Tabla 4. Indicadores de tiempo de operación y tiempo medio de recuperación de la capacidad de trabajo de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021.

		ANALISIS RAM											
SISTEMAS	INDICADOR			Tiempo de Recuperación			INDICADOR			Tiempo operativo			
	FORMULAS			$T_R = \frac{Tf}{m}$			FORMULAS			$T_o = \frac{Tr}{m}$			
	MESES						MESES						
	SEPT-	OCT.	NOV	DIC.	ENE.	FEB.	SEPT-	OCT.	NOV	DIC.	ENE.	FEB.	
Carcasa de elemento filtrante tipo manga	6,67	6,67	6,67	11,00	10,00	10,00	32,00	38,33	32,00	38,33	32,00	38,33	
Filtro de sedimentos (zeolita)	3,33	3,33	3,33	10,00	10,00	10,00	30,67	36,67	30,67	36,67	30,67	36,67	
Filtro de ablandador	6,67	6,67	11,00	15,00	10,00	10,00	31,67	33,33	31,67	33,33	31,67	33,33	
Filtro de carbón activado	6,67	6,67	6,67	3,33	7,50	5,00	33,33	36,67	33,33	36,67	33,33	36,67	
Membranas para osmosis inversa	3,33	6,67	6,67	5,00	10,00	3,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	
Membranas para osmosis inversa	3,33	6,67	6,67	6,67	10,00	5,00	40,00	33,33	40,00	33,33	40,00	33,33	
Bombas de Agua de Succión	6,67	6,67	6,67	10,00	10,00	5,00	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	
Bomba de distribución	6,67	6,67	6,67	6,67	10,00	10,00	36,67	36,67	36,67	36,67	36,67	36,67	
Tanque de distribución	6,67	6,67	6,67	6,67	15,00	10,00	36,67	40,00	36,67	40,00	36,67	40,00	
Tanque Hidroneumático	3,33	3,33	3,33	10,00	6,67	10,00	40,00	36,67	40,00	36,67	40,00	36,67	

Esterilizador ultravioleta	3,33	3,33	1,67	2,50	2,50	1,00	32,00	38,33	32,00	38,33	32,00	38,33
----------------------------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Nota: La presente tabla muestra los indicadores de tiempo operativo y tiempo de recuperación estudiados durante los 6 meses en los que se implementó la gestión de mantenimiento de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021. Elaboración propia.

La variación del tiempo medio entre mantenimientos constituye un indicador de la confiabilidad del sistema; aunque existe un mínimo incremento del tiempo medio entre fallos y disminución del 50% [4 días] en los tiempos medios para reparar en necesario recordar que estos no son indicadores de los índices de

confiabilidad y representa la frecuencia de los mantenimientos planificados y no planificados. Dado que persisten ciertas fallas en un reducido número de equipos, la confiabilidad de los mismos aumenta gradualmente, esto en parte por el diseño, montaje, y la tasa de trabajo.

Tabla 5. Indicadores de tiempo medio de reparación y tiempo medio entre fallas de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021.

ANÁLISIS RAM				
SISTEMAS	INDICADOR	Tiempo medio de reparación	INDICADOR	Tiempo operativo
	FORMULAS	$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n} \text{ (días)}$	FORMULAS	$T_o = \frac{Tr}{m}$
	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021		SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021	
Carcasa de elemento filtrante tipo manga	0,43	4 DÍAS	5,72	66,67 DÍAS
Filtro de sedimentos (zeolita)	0,33		5,56	
Filtro de ablandador	0,53		6,29	
Filtro de carbón activado	0,28		5,47	
Membranas para osmosis inversa	0,27		5,55	
Membranas para osmosis inversa	0,30		5,94	

Bombas de Agua de Succión	0,38		6,25	
Bomba de distribución	0,36		6,25	
Tanque de distribución	0,40		6,25	
Tanque Hidroneumático	0,29		6,33	
Esterilizador ultravioleta	0,12		7,07	

Nota: La presente tabla muestra los valores de los indicadores de los 6 meses durante los que se implementó la gestión de mantenimiento de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021. Elaboración propia.

Establecer una curva de confiabilidad que grafique el funcionamiento el comportamiento de los ítems en relación a su función en un periodo de tiempo dado expresa la probabilidad de confiabilidad. Dado que existen ítems en redundancia que no siempre se encuentra en paralelos, convierte al sistema en un elemento mixto cuya confiabilidad general es equivalente al valor mínimo de confiabilidad que tenga uno de los ítems al ser evaluados, viéndose

afectados solo por la tasa de probabilidad de fallos.

La estimación de los métodos que establecen la alineación y de la estimación entre la confiabilidad y de la mantenibilidad se exponen en los estos índices expresan el nivel objetivo de la confiabilidad en el sistema en base al base de las valoraciones probabilísticas de confiabilidad como resultado de la incidencia de la gestión de mantenimiento.

Tabla 6. Tabla de los tiempos medios entre mantenimientos a los activos de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021.

ANALISIS RAM				
SISTEMAS	INDICADOR	Confiabilidad	Ítem redundante	
	FORMULAS	$R(t) = e^{-\frac{1}{MTBF} * tiempo}$	INDICADOR	Probabilidad de fallo
	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021		FORMULAS	$F(t) = 1 - (1 - e^{-(\lambda_n * t)^n})$
Carcasa de elemento filtrante tipo manga	0,35	35,01	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021	

Filtro de sedimentos (zeolita)	0,34	33,98	0,31	
Filtro de ablandador	0,39	38,55		
Filtro de carbón activado	0,33	33,39		
Membranas para osmosis inversa	0,34	33,91		
Membranas para osmosis inversa	0,36	36,41	INDICADOR	Confiability de ítem redundante
Bombas de Agua de Succión	0,38	38,29	FORMULAS	$R(t) = 1 - f(t)$
Bomba de distribución	0,38	38,29	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021	
Tanque de distribución	0,38	38,29	0,69	69%
Tanque Hidroneumático	0,39	38,75		
Esterilizador ultravioleta	0,43	42,79		
INDICADOR	Confiability del sistema		97%	
FORMULAS	$R_{(s)} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_n + \lambda_n)t}$			

Nota: La presente tabla muestra los indicadores de disponibilidad posterior a la implementación de la gestión de mantenimiento preventivo de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021. Elaboración propia.

El incremento sustancial de la confiabilidad en 22 puntos porcentuales [22%] se encuentra estrechamente relacionada con la metodología de gestión en relación al tiempo el producto de funcionamiento y el tiempo de operación de cada ítem componente del sistema. Esta variable aleatoria está definida por la duración del funcionamiento y dada en días tomando como referencia las 160 horas mensuales en las que debe operar cada equipo. Un análisis aplicando distribuciones de

probabilidad expresa la dispersión de los tiempos de vida útil de estos ítems que afecta la confiabilidad en el tiempo.

El comportamiento general de los ítems componentes del sistema, a partir de los tiempos expuestos en registro del histórico de fallos soy expuestos en el cálculo de los indicadores de gestión mediante el empleo del análisis por metodología RAM en el periodo periodo septiembre 2020 – febrero del 2021 cuya evaluación paramétrica expone que el incremento de la confiabilidad

se ve reflejada por el incremento a su vez de la disponibilidad Inherente; El cálculo de los modelos de confiabilidad y mantenibilidad afectan de manera directa a la disponibilidades, estando estas sujeta a la variación de los MTBF y el

MTTR; por la tanto la correcta aplicación de la gestión y su evaluación por este método deberá expresar la aproximación entre los valores de confiabilidad y mantenibilidad [tabla 21]

Tabla 7. Indicadores de mantenibilidad y disponibilidad inherente de los activos de la planta de tratamiento de agua.

ANALISIS RAM				
SISTEMAS	INDICADOR	Mantenibilidad	INDICADOR	Disponibilidad inherente
	FORMULAS	$M = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}} = e^{-\mu * t}$	FORMULAS	$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021		SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021	
Carcasa de elemento filtrante tipo manga	0,90	90,49	0,07	6,92
Filtro de sedimentos (zeolita)	0,95	95,02	0,06	5,66
Filtro de ablandador	0,85	84,85	0,08	7,76
Filtro de carbón activado	0,97	97,19	0,05	4,87
Membranas para osmosis inversa	0,97	97,42	0,05	4,70
Membranas para osmosis inversa	0,96	96,45	0,05	4,80
Bombas de Agua de Succión	0,93	93,05	0,06	5,66
Bomba de distribución	0,94	93,56	0,06	5,51
Tanque de distribución	0,92	91,60	0,06	6,07
Tanque Hidroneumático	0,97	96,95	0,04	4,33
Esterilizador ultravioleta	1,00	99,98	0,02	1,66

Nota: La presente tabla muestra los indicadores de mantenibilidad y disponibilidad inherente de los activos de planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021. Elaboración propia.

Tabla 8. Índice de disponibilidad de los activos de la planta de tratamiento de agua.

ANÁLISIS RAM		
SISTEMAS	INDICADOR	Disponibilidad
	FORMULAS	$D = \frac{R(s)}{R(s) + M}$
	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021	
Carcasa de elemento filtrante tipo manga	0,52	51,68
Filtro de sedimentos (zeolita)	0,50	50,46
Filtro de ablandador	0,53	53,28
Filtro de carbón activado	0,50	49,89
Membranas para osmosis inversa	0,50	49,83
Membranas para osmosis inversa	0,50	50,08
Bombas de Agua de Succión	0,51	50,98
Bomba de distribución	0,51	50,84
Tanque de distribución	0,51	51,37
Tanque Hidroneumático	0,50	49,95
Esterilizador ultravioleta	0,49	49,18

Nota: La presente tabla muestra los índices de disponibilidad de los activos de planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021. Elaboración propia.

El incremento en el índice de disponibilidad expone las condiciones generales del sistema, los recursos técnicos y operacionales de cada ítem para cumplir función depende de la unidad de mantenimiento, que logre identificar los riesgos y establecer estrategias de mantenimiento preventivo que mantenga el índice requerido. La tasa de disponibilidad

se mantiene por encima del 50% dado que es un sistema mixto cuya operación depende de determinados ítems. Esto evidencia la necesidad de redireccionar los recursos mediante la implementación de mejoras en la gestión utilizado el modelo de mejora continua.

Tabla 9. *Tiempos medios entre mantenimientos correctivos y planificados de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE, periodo septiembre 2020 – febrero del 2021.*

ANALISIS RAM				
SISTEMAS	INDICADOR	Tiempo medio entre mantenimientos correctivos	INDICADOR	Tiempo medio entre mantenimientos programados
	FORMULAS	$MTBM_{CM} = \frac{\sum T_o}{n_{mc}}$	FORMULAS	$MTBM_{PM} = \frac{\sum T_o}{n_{mp}}$
	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021		SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021	
Carcasa de elemento filtrante tipo manga	19,24	9,13 DÍAS	24,06	11,72 DÍAS
Filtro de sedimentos (zeolita)	18,71		23,39	
Filtro de ablandador	22,86		26,67	
Filtro de carbón activado	17,19		22,92	
Membranas para osmosis inversa	17,40		23,19	
Membranas para osmosis inversa	18,75		25,00	
Bombas de Agua de Succión	21,44		26,81	
Bomba de distribución	19,79		26,39	
Tanque de distribución	19,79		26,39	
Tanque Hidroneumático	20,00		26,67	
Esterilizador ultravioleta	23,93		29,92	

Nota: *La presente tabla muestra los valores de los indicadores Tiempos medios entre mantenimientos correctivos y planificados para los activos de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE en el periodo septiembre 2020 – febrero del 2021o. Elaboración propia.*

Tabla 10. Tiempos medios entre mantenimientos y Disponibilidad Operativa de los activos planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE septiembre 2020 – febrero del 2021.

ANALISIS RAM				
SISTEMAS	INDICADO R	Tiempo medio entre mantenimientos	INDICADOR	Disponibilidad Operacional
	FORMULAS	$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$	FORMULAS	$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + M}$
	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021		SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021	
Carcasa de elemento filtrante tipo manga	10,69	5,13	0,96	96,18
Filtro de sedimentos (zeolita)	10,40		0,97	96,89
Filtro de ablandador	12,31		0,96	95,87
Filtro de carbón activado	9,82		0,97	97,23
Membranas para osmosis inversa	9,94		0,97	97,32
Membranas para osmosis inversa	10,71		0,97	97,28
Bombas de Agua de Succión	11,91		0,97	96,95
Bomba de distribución	11,31		0,97	96,88
Tanque de distribución	11,31		0,97	96,55
Tanque Hidroneumático	11,43		0,98	97,55
Esterilizador ultravioleta	13,30		0,99	99,11

Nota: La presente tabla muestra la disponibilidad operativa a los activos planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE septiembre 2020 – febrero del 2021. Elaboración propia.

La disponibilidad de sobre cada ítem del sistema en razón del tiempo de implementación de la gestión de mantenimiento preventivo afecta directamente al efecto económico de este estudio.; el grado de precisión de los resultados del análisis

permitan establecer el incremento de la disponibilidad con referencia individuales no combinadas mediante el probabilístico del grado de disponibilidad de cada ítem.

Evaluación de la eficiencia económica

Antecedentes de la solución y estado actual de la temática

La implementación de la gestión de mantenimiento preventivo buscó garantizar el aumento de la confiabilidad en el sistema de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE entre los meses de septiembre 2020 – febrero del 2021. Los indicadores de mantenibilidad y confiabilidad operativa aumentaron sustancialmente permitiendo responder a las necesidades y requerimientos de la empresa manteniendo los niveles de calidad y cantidad de resultados esperados en los procesos mediante la implementación de mejoras cuyos costes se ven reflejados en la tabla 12 mejorando sustancialmente la productividad y rentabilidad como aporte l efecto económico.

Como resultado, la propuesta de mejoras son las siguientes establecida para la correcta implantación de la gestión de mantenimiento esta:

- Establecer estrategias de mantenimiento preventivo que mejoren la productividad de los

equipos de planta aumentando su rentabilidad reduciendo los costos de mantenimiento en función del número de fallos con respecto a un tiempo determinado.

- Precautelar la vida útil y evitar el deterioro prematuro de los equipos de planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE.
- Establecer política que programen, controlen y evalúen las actividades de mantenimiento preventivo, reduciendo el mantenimiento correctivo al re-direccionar los recursos a las aéreas críticas dentro de la planta.
- Mejorar el índice de confiabilidad que tienen los equipo y el sistema para el de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE.
- Realizar evaluaciones periódicas a fin de mantener la funcionabilidad del sistema en base a la confiabilidad en los activos mediante la aplicación de protocolos que establezcan hojas de ruta para re-direccionar el mantenimiento haciendo

énfasis en los indicadores de gestión como mantenibilidad y disponibilidad.

Cálculo de los costos por cada mejora

Tabla 11. Cálculo del costo por cada solución (mejora, medida, otra) propuesta.

CÁLCULO DE LOS COSTO				
Descripción	UM	SEMESTRE DE SEPTIEMBRE 2020 – FEBRERO 2021		
		MES 2	MES 4	MES 6
Materiales directos	\$	1258,00	2156,00	1865,00
Materiales auxiliares	\$	420,00	630,00	425,00
Salario (básico + complementario -2,5 + otros)	\$	600,00	600,00	600,00
Aporte al Seguro social (48.00X c/u)	\$	48,00	48,00	48,00
Energía	\$	120,00	128,00	142,00
Otros costos directos	\$	240,00	265,00	120,00
Sub total Costos directos	\$	2686,00	3827,00	3200,00
Sub total Costos indirectos. Depreciación, Administración, otros. (TDci)	\$	268,60	191,35	160,00
Costos Total	\$	2954,60	4018,35	3360,00

Nota: En cada cuadrícula de la tabla 1, se reflejan detalladamente las expresiones de cálculos y los datos utilizados en el semestre de septiembre 2020 – febrero 2021, donde se muestra el costo total. Elaboración propia.

Impactos de la solución

Las mejoras propuestas están asociadas a los siguientes impactos:

- Técnico – Estos expresan los cambios en el tratamiento dado a los activos físicos, con énfasis en las condiciones de servicio de cada dentro de la línea de producción mediante la aplicación de estrategias de

control del mantenimiento, para que estas actividades sean tareas preventivas, gracias al mantenimiento planificado [mejoras 1- 2 - 3]

- Económico – referente a la relación costo-beneficio para cada una de las tres mejoras con relación directa a la eficiencia y productividad de los ítems

componentes del sistema con el fin de prolongar la vida útil de los activos que intervienen en la línea de procesos [mejoras 2-3].

- Social – Relacionado con el talento humana y la confiabilidad generada por estos durante la ejecución de las actividades de mantenimiento con la aplicación de estrategias de planificación, control y evaluación de los indicadores de gestión en relación a la capacitación del personal evidenciado en la optimización de los Tr, Tf, nM, MTBF, MTTR y MTBM [mejoras 1, 2].

- Ambiental – Con la disminución de la producción de desechos y residuos químicos y/u otro material fruto de las actividades de mantenimiento con afectación directa como causa coadyuvante del cambio climático. (todas las mejoras).

- El siguiente factor Jurídico no fue impactado.

Resultado económico del proyecto

Los resultados concretos alcanzados son:

- Al determinar la criticidad de los ítems componentes del sistema se pudo establecer la priorización de las acciones de mantenimiento, redirigiendo los recursos de la unidad encargada del mismos a fin de que las solicitudes de mantenimientos sean programadas en razón de las necesidades de la planta.

- Se reajustó el tiempo medio para reparar [MTTR] en 4 días [96 horas] entre los meses de septiembre 2020 – febrero 2021; se aumentó el tiempo medio entre fallas [MTBF] en 8,16 horas, la frecuencia de las inspecciones se estableció en 72 horas y/o sus métodos de análisis y evaluación mediante metodología RAM cada 30 días.

Los resultados presentados anteriormente se relación de forma directa con los siguientes efectos económicos:

- Reducción del consumo de materiales auxiliares en acciones de mantenimiento correctivo, lo que implica un ahorro de \$ 460/mes [2700/semestrales]

- Reducción de 4 h en los tiempos medios de reparación implica un ahorro de \$630/mes [3780/semestrales] al disminuir los tiempos de parada.
- Reducción de 4 h de en los tiempos medios de reparación por concepto de contratación de personal auxiliar implica un ahorro de \$ 220/mes [1320/semestrales] en pago de salarios
- Reducción de \$ 150/mes [750/semestrales] por concepto de gastos indirectos como consecuencia del anterior resultado.
- Incremento de \$ 180/mes [180/semestrales] por concepto de capacitación de personal de la unidad de mantenimiento.

Cuantificar el valor total del Efecto Económico, $\Sigma \$ 1.722,16/\text{mes}$ [10332,95/semestrales]

5. Conclusiones

- La confiabilidad en los sistemas de planta está relacionada con la organización, control y evaluación de las actividades de mantenimiento que permiten a los activos mantener su funcionalidad

en un tiempo determinado; los requerimientos de producción de la planta de tratamiento de agua de la empresa DIALILIFE son en base a la demanda de las unidades de Diálisis que necesitan un suministro continuo de agua tratada para los procesos emergentes propios de esta actividad. La disminución de los costos operativos y de mantenimiento tienen un efecto directo en la economía de la empresa.

- La presencia de potenciales riesgos que afecten la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema se pueden reducir mediante estrategia de mantenimiento preventivo que reduzcan la tasa de fallos que obliguen al sistema a realizar paradas no programadas. La alta demanda de producción obliga a los ítems de planta a trabajar en condiciones óptimas; para lo cual, es necesario la inversión a efectos de mermar la incidencia de los potenciales riesgo de ocurrencia de mantenimientos correctivos que deterioren el balance existente entre la economía de la planta y la confiabilidad en sus equipos
- El análisis RAM con enfoque en la mejora continua permite reducir

paulatinamente los estadísticos del histórico de fallos y la probabilidad de generar sucesos indeseados que comprometan la integridad de los activos de planta. Los sistemas y sus componentes que intervienen en el proceso de tratamiento de agua deben ser monitoreados y evaluados de forma sistemática con la finalidad de mantener los índices de mantenibilidad, disponibilidad y seguridad deseados por la organización.

- Las evaluaciones de confiabilidad con enfoque en la mejora continua, permiten determinar la incidencia de la aplicación de una determinada gestión y la afectación que esta tiene en las unidades de mantenimiento de una planta. La implementación de estrategias de mejora que permitan reducir los tiempos medios de mantenimiento permiten a las unidades encargadas del mismo optimizar sus actividades y mejorar la rentabilidad de la planta manteniendo un equilibrio entre los costes de producción y los costes de mantenimientos.
- El análisis de los requerimientos de producción

volumétrico de agua tratada para los centros hospitalarios como la empresa DIALILIFE S. A. se basan principalmente en la demanda de los servicios por parte de los usuarios. La confiabilidad en el sistema tanto para la producción como para la calidad de servicios se ve afectada por el nivel de riesgo de que se produzca una parada no esperada del sistema, la cual está regulada por el tiempo medio entre fallos, lo cual afecta directamente a la disponibilidad y mantenibilidad del sistema.

- Como parte final, es necesario establecer que dentro de la propuesta de gestión de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad intervienen de manera íntima el talento humano, como como ejecutor de los procesos de monitoreo, control y evaluación del sistema. La combinación de los riesgos presentes en los diferentes activos permite predecir la confiabilidad a nivel operacional del sistema; pero, dentro esta configuración deberá estar inmerso el grado de redundancia de cada ítem y la asignación de recursos para su mantenimiento independientemente de su función, mantenibilidad y

disponibilidad con base a la naturaleza de los fallos que puedan presentar.

Bibliografía

Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Assessment of contributions of successful TPM initiatives towards competitive manufacturing. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.

Carrión Maroto, J. (2007). *Estrategia. De la visión a la acción*: Esic Editorial.

De Bona, J. (1999). *GESTION DEL MANTENIMIENTO: GUIA PARA EL RESPONSABLE DE LA CONSERVACION DE LOCALES E INSTALACIONES: CRITERIOS PARA LA SUBCONTRATACION*: FC Editorial.

Farfan Bareño, C. J. (2017). *Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (Rcm li) Para La Planta De Agua fría Del Sistema De climatización De Zonas Comunes Del Centro Comercial Parque Caracoli*. Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Mecánica. Retrieved from <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/38284/1/170851.pdf>

Fernández, G. G., & Zaballa, R. V. (2009). *Técnicas de diagnóstico en mantenimiento*

de los servicios de hemodialisis. *Ingeniería Industrial*, 30(1).

Fernández Sánchez, M., & Shkiliova, L. (2012). Validación de un método para el cálculo de indicadores de mantenimiento.

Galar, D., Berges, L., Lambán, P., & Tormos Martínez, B. (2014). La medición de la eficiencia de la función mantenimiento a través de KPIs financieros. *Dyna*, 81(184), 102-109.

Gasca, M., Camargo, L., & Medina, B. (2017). Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. *Información tecnológica*, 28, 111-124.

Pérez González, A., Sánchez Marín, F., & Rodríguez Cervantes, P. (2007). *Mantenimiento mecánico de máquinas* (Vol. 25). Publicacions de la Universitat Jaume I. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4oZdks_uORsC&oi=fnd&pg=PA51&dq=S%C3%A1nchez+Mar%C3%ADn+F.+P%C3%A9rez+Gonz%C3%A1lez+A.+Sancho+Br%C3%BA+J.+%26+Rodr%C3%ADguez+Cervantes+P.+\(2007\),+Mantenimiento+mec%C3%A1nico+m%C3%A1quinas.&ots=5bFPZCj0iQ&sig=B8YfJAIXooPe2hMLciRY3CjyPKo#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4oZdks_uORsC&oi=fnd&pg=PA51&dq=S%C3%A1nchez+Mar%C3%ADn+F.+P%C3%A9rez+Gonz%C3%A1lez+A.+Sancho+Br%C3%BA+J.+%26+Rodr%C3%ADguez+Cervantes+P.+(2007),+Mantenimiento+mec%C3%A1nico+m%C3%A1quinas.&ots=5bFPZCj0iQ&sig=B8YfJAIXooPe2hMLciRY3CjyPKo#v=onepage&q&f=false)

Granizo Rodríguez, J. (2016). *Evaluación de la gestión del*

- mantenimiento de la central de generación hidroeléctrica Río Blanco, de la empresa eléctrica Riobamba SA, durante el año 2014. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5899/1/25T00279.pdf>
- Hernández Cruz, E., & Navarrete Pérez, E. (2001). Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento. *Ingeniería Mecánica*, 4(4), 15-20.
- Herrera Galán, M., & Yoenia Duany, A. (2016). Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento. 37, 2-13.
- How to organize the maintenance of your healthcare technology. (2005). Lewes-Reino Unido: Ziken International Consultants Ltd.
- Huerta, P., & Eduardo, A. (2007). Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo y Preventivo en Función de la Criticidad de los Equipos del Proceso Productivo de una Empresa Empacadora de Camarón. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1348/1/2625.pdf>
- Hung, A. (2009). Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC; Reliability Centered Maintenance as a Strategy to support availability and forced outages indicator. *Ingeniería energética*, 30(2), 13-18.
- ISO, S. C. d. (2015). NORMA INTERNACIONAL ISO 9001: 2015 Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos (Vol. 9001: 2015, pp. 45). Ginebra, Suiza.
- Jesús, C. C., & José, Z. Z. (2017). Implementación de un plan de gestión de mantenimiento integral a través de un software para la proyección y planificación de las actividades de mantenimiento automotriz para la flota de vehículos del Municipio de Cañar. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7699/1/65T00252.pdf>
- Llamuca Llamuca, D. J. (2017). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de tratamiento de aguas residuales Star-Paraíso, ubicada en Santo Domingo de los Tsáchilas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8269/1/25T00322.pdf>

- Mantilla Rivera, J. J., & Morales González, M. C. (2017). Evaluación de la gestión de mantenimiento en el Hospital Básico Publio Escobar Gómez de la Torre de Cantón Colta y su incidencia en la calidad de servicio. Propuesta alternativa. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6682/1/25T00305.pdf>
- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295-302.
- Ojeda M, N. G., & Fretes, S. (2016). Calidad de agua para hemodiálisis utilizada en un Hospital de Asunción, Paraguay. *Revista Científica de la UCSA*, 3, 12-17.
- Orozco Murillo, W., Benjumea, J., García Gómez, W., & Rodas, A. (2017). Gestión de mantenimiento y producción más limpia en tres instituciones de salud de Medellín, Colombia. *Revista Ingeniería Biomédica*, 11. doi:10.24050/19099762.n21. 2017.1168
- Pinos Guillén, G. (2016). Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad a los equipos críticos de la planta de tratamiento de agua potable Sustag de Etapa Ep. (Tesis para obtención del título de Magister en Gestión De Mantenimiento), Universidad del Azuay, Cuenca - Ecuador. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6192>
- Sánchez Rodríguez, Á. (2010). La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento.
- Sarmiento Meléndez, L. A. (2017). Gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad de estación de bombeo N° 1 de la planta de tratamiento de agua potable N° 1 de Chiclayo en la empresa Epsel SA para el aumento de la producción en el servicio de agua potable en la ciudad de Chiclayo. (Tesis Para Obtener El Título De Ingeniero Industrial), Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo, Chiclayo - Perú. Retrieved from http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1492/1/TL_SarmientoMelendezLuis.pdf
- Tavares Lourival, A. (1999). Administración moderna de mantenimiento: Novo Polo Publicacoes.