

Maintenance management model based on RCM and TPM to optimize times and costs within the useful life cycle of nautical assets

Angello Giuria-Farías
Programa de Ingeniería Industrial
Universidad Peruana de Ciencias
Aplicadas
Lima, Perú
0000-0002-9207-9056

Camila Noriega-Revoredo
Programa de Ingeniería Industrial
Universidad Peruana de Ciencias
Aplicadas
Lima, Perú
0000-0002-4798-6968

Ernesto Altamirano-Flores
Programa de Ingeniería Industrial
Universidad Peruana de Ciencias
Aplicadas
Lima, Perú
0000-0002-8634-9689

Abstract— *Managing assets implies getting the most out of a company's assets, a fact that achieves an operational competitive advantage over rivals in the sector. In relation to this, the present case study is focused on achieving the maximum efficiency of the resources of the Naval Center of Peru, which manages different vessels and maritime equipment as main assets in order to promote the practice of nautical sports in the country., but that is limited by the extra costs incurred in keeping them operational, which represent about 45% of total operating costs. Based on the diagnosis made, the main problem was the short life of the assets, from which various root causes related mainly to human errors and maintenance methods branched off. For this reason, the research proposes a novel model that integrates the best practices of TPM and RCM, adapting the COFA and FMEA analysis methods of RCM, as well as the most important pillars of TPM, in order to reduce systematic failures, accelerated wear and asset breakages, with reference to success stories from similar sectors that are adapted to a fleet of boats, within the framework of a nautical sector with little research on fleet management. Likewise, based on the proposed solution model, it was possible to reduce maintenance and operation costs by 20.29% and increase the lifetime of assets by 47.33%, demonstrating that the partial implementation (pilot) produces substantial results, but not the expected with the integral model due to the same maturity of the project.*

Keywords— *Life Cycle, Marine Assets, Maintenance Management, Reliability Centered Maintenance (RCM), Total Productive Maintenance (TPM)*

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.747>
ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

“Modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM y TPM para optimizar tiempos y costos dentro del ciclo de vida útil de activos náuticos”

Abstract— Gestionar activos implica sacar el máximo rendimiento de los bienes de una empresa, hecho que logra una ventaja competitiva operacional en referencia a los rivales del sector. En relación a ello, el presente caso de estudio está enfocado en lograr la máxima eficiencia de los recursos del Centro Naval del Perú, la cual gestiona como principales activos distintas embarcaciones y equipamiento marítimo con el fin de promover la práctica de deportes náuticos en el país, pero que se ve limitada por los sobrecostos incurridos en mantenerlos operativos, los cuales representan cerca del 45% de los costos totales de operación. En base al diagnóstico realizado, se obtuvo como principal problema el corto tiempo de vida que los activos tenían, del cual se bifurcaron diversas causas raíces relacionadas principalmente a errores humanos y métodos de mantenimiento. Por ello, la investigación propone un modelo novedoso que integra las buenas prácticas del TPM y RCM, adaptando los métodos de análisis COFA y FMEA del RCM, así como los pilares más importantes del TPM, en pro de poder reducir fallos sistemáticos, el desgaste acelerado y roturas de los activos, con referencia a casos de éxito de sectores similares que son adaptados a una flota de embarcaciones, en el marco de un sector náutico de poca investigación en materia de gestión de flota. Asimismo, en base al modelo de solución propuesto se logró reducir los costos de mantenimiento y operación en 20.29% y aumentar el tiempo de vida de los activos en un 47.33%, demostrando que la implementación parcial (piloto) produce resultados sustanciales, más no los esperados con el modelo integral debido a la misma madurez del proyecto.

Keywords— *Ciclo de vida útil, Activos náuticos, Gestión de mantenimiento, Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), Mantenimiento productivo total (TPM)*

I. INTRODUCCIÓN

El sector náutico de recreo de un país a nivel mundial está muy relacionado por la cantidad de parques náuticos de recreo en sus costas y los kilómetros de costa con los que cuenta el país [1]. Este sector es tan importante en ciertos países incluso que, si se suprimiera de la Unión Europea, habrían caídas en estos países de más de 20 puntos de su PBI anual [2]. En España, por ejemplo, se evidencia que aporta al PBI del país en un 2% [1]. En el Perú, se contaban con 3 grandes embarcaderos náuticos-deportivos al 2015 [3]

y al día de hoy se aproxima contar con poco más de 10 de estos a lo largo de los 3000 kilómetros de litoral peruano, lo que evidencia el poco aprovechamiento de los recursos marítimos del país y el gran potencial del sector.

En términos económicos, el subsector más importante de la náutica de recreo es el de Construcción, reparación y mantenimiento de embarcaciones, que incluye principalmente empresas que realizan actividades de reparación y mantenimiento y un reducido número de astilleros [1]. En ese sentido, analizar el subsector que incluye el mantenimiento de embarcaciones es estudiar más de la cuarta parte del sector náutico de recreo. En relación a las embarcaciones, el 40% de sus costos totales se incurren en etapas tempranas donde se adquiere el activo, mientras que la mayor posibilidad de influir en el costo dentro del ciclo de vida del activo es en la etapa operativa donde se le utiliza y mantiene [4].

El aporte entonces radica en mejorar la eficiencia de los recursos a través de la mejora de la gestión de los activos náuticos de una empresa creada por la Marina de Guerra para fomentar los deportes náuticos. El objetivo es diseñar un nuevo modelo de gestión de mantenimiento que tome en consideración las ineficiencias y malas prácticas de los involucrados para prevenirlas. Este modelo contará como bases al RCM y TPM en conjunto, pues diversos autores [5], [6], [7], [8] evidencian el rotundo éxito que tienen en empresas manufactureras en pro de la preservación de los activos. En referencia al TPM, este aborda el mantenimiento de equipos a través de un sistema de entrega de mantenimiento productivo integral que cubre toda la vida útil del equipo [9], mientras que el RCM establece estrategias de mantenimiento enfocadas en preservar las funciones del sistema, extender la vida útil de la máquina, eliminar las tareas de mantenimiento innecesarias y minimizar los costos operativos totales mientras aumenta la confiabilidad del sistema [10]. Así pues, la investigación aporta una nueva comprensión para el campo, donde previamente no se consideraba la gestión de los equipos a nivel flota, permitiendo ahora sacar el máximo provecho del conjunto durante su vida útil.

De tal modo, se presenta a continuación el artículo, compuesto por un resumen que sintetiza las bases de la investigación; el estado del arte, donde se analizan estudios previos; y el aporte de la investigación, conformado por 3 fases consecutivas, Planeación, Análisis y Diseño, y

Ejecución, el cual a su vez está compuesto por 8 pasos, Planificación Estratégica, y Observación y Recopilación de la Información, pertenecientes a la primera fase; COFA, FMEA y Mantenimiento Planificado que integran la segunda fase; y finalmente, Mantenimiento Autónomo, Gestión Temprana de Equipos, y Capacitación y Educación, siendo los dos primeros pasos de la tercera fase y el último paso aplicable a todo el modelo. Por último, se muestra la validación funcional mediante un piloto de 5 de las embarcaciones de la línea Optimist, siguiendo las características y consideraciones de los pasos determinadas en las fases del modelo; la viabilidad económica y, las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

II. ESTADO DEL ARTE

A. *Lineamientos generales de modelos de gestión de mantenimiento*

Para la construcción de modelos, específicamente de gestión de mantenimiento, es necesario recurrir a las estructuras actuales, las cuales deben evidenciar resultados tangibles en materia de estudio. En ese sentido, se revisaron distintos constructos elaborados en temas de gestión de mantenimiento para poder evaluar su fases, secuencia, objetivos, extensión y duración, con el fin de tomar en cuenta ciertas consideraciones para la elaboración del modelo propuesto.

Tanto en la industria alimentaria como en la minera, los modelos inician colocando a los stakeholders como base para definir planes estratégicos, tácticos y operativos de la empresa en materia de gestión de mantenimiento [11], [12]. Proyectos de implementación de RCM y TPM en conjunto se esquematizan por fases que facilitan su planificación, ejecución, seguimiento, corrección, verificación y control [13], [14]. En estos enfoques se toman acciones por cada pilar, filosofía y/o fase de manera transversal para cubrir objetivos globales, funcionales y operativos de la empresa con opciones a aplicar planes de mantenimiento variados. De manera similar aplicado solo al TPM, además de establecer objetivos, acciones e indicadores por cada fase de la implementación, se priorizan las causas primigenias de problemas en los equipos críticos para focalizar y maximizar esfuerzos de manera eficiente [7].

Independientemente del sector trabajado, para lograr éxito en la implementación del TPM se debe realizar una integración vertical (nivel estratégico, táctico y operativo) y transversal (procesos e interesados involucrados) con el fin de abarcar todas las aristas para mejorar y multiplicar el impacto de las mejoras. A su vez, el éxito de la implementación radica en la determinación de objetivos a corto, mediano y largo plazo con el fin de trazar acciones que se traduzcan en resultados tácticos.

B. *Indicadores de gestión de mantenimiento*

Con el fin de desarrollar un modelo que sea objetivo desde la medición inicial hasta la evaluación de sus resultados, fue necesario hacer un estudio de otras técnicas de gestión de mantenimiento y sus indicadores clave de éxito, así como de indicadores de gestión generales en materia de

mantenimiento en diferentes industrias para establecer los indicadores que darán luz al modelo de que se está ejecutando de manera correcta o errónea desde cada uno de los niveles que lo componen.

Por una parte, el CBM aplicado al sector transporte prioriza indicadores de la condición de los activos, mejorando la efectividad de las inspecciones a partir de definir nuevos intervalos para realizarlas [15], [16], sin embargo, es poco viable por no haber equipos desarrollados en la industria del monitoreo de la condición continua, además de que no es recomendable para sistemas dinámicos, mientras que, mediante el RBI&M se prioriza el riesgo como el factor más importante a considerar para evaluar un equipo en el mismo sector [17], éste tampoco es factible para el caso de estudio al no determinar qué activos son más críticos sin herramientas complejas de análisis.

Por otra parte, algunos autores consideran mejor el uso de indicadores clásicos de mantenimiento con el enfoque TPM, sobre todo aquellos que trabajan en el sector manufacturero [8], donde se emplean los indicadores PQCDMS y hacen referencia al OEE y las seis grandes pérdidas. Otros estudios de carácter analítico indagan en la literatura y cuestionan a expertos en materia para determinar cuáles son los indicadores más usados en base a la experiencia de diversas personas [18], identificando hasta 15 indicadores de gestión de mantenimiento sólo en la industria textil que tienen un índice relativo de importancia mayor a los indicadores referidos al OEE y las seis grandes pérdidas.

En síntesis, los indicadores previamente analizados son útiles para evaluar el rendimiento global de la gestión del mantenimiento, ya que logran reducir los costos del ciclo de vida mientras garantizan un mayor nivel de seguridad y calidad de servicio. Sin embargo, se evidencia que existe distintos grados de relevancia entre unos y otros, lo que hace necesaria su priorización para saber cuál de ellos tomar en cuenta para el modelo del presente caso de estudio.

C. *Casos de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad*

Una de las técnicas escogidas para integrar el modelo propuesto es el RCM, y esto es debido a su proactiva capacidad de análisis centrada en preservar las funcionalidades y anticiparse a los fallos. En literatura, el RCM aplica herramientas de ingeniería para lograr hacer tales análisis, las cuales se rescatan a continuación.

La aplicación de la secuencia lógica del FMEA del RCM es empleado en distintos sectores y equipos, obteniendo reducciones resaltantes de los costos de mantenimiento en función de la confiabilidad del equipo [6], [19], [20], criterio importante de múltiples referencias a lo largo de la literatura. Por otra parte, se evidencia la aplicación de métodos más complejos, pero con resultados similares, como el método Montecarlo y modelos de optimización en sistemas complejos para determinar el nivel de disponibilidad donde los costos de mantenimiento y paradas se minimicen [21], o la definición del nivel de disponibilidad requerido y cálculo del MTBF para determinar los tiempos entre inspecciones adecuados para armar el plan de mantenimiento [22].

Se evidencia entonces que el RCM es trabajado en su gran mayoría de casos con la secuencia lógica del FMECA

como base, aun así, no determina por sí solo los tiempos entre inspecciones para el plan de mantenimiento a ejecutar, por lo que son necesarias herramientas adicionales. Asimismo, se utiliza mayormente el RPN para priorizar piezas y partes, sin embargo, las existentes opciones de la simulación montecarlo y de la teoría difusa se adaptan mejor a casos donde la información es incierta, por lo que es oportuno considerarlo para el sector emergente del presente trabajo de investigación.

D. Modelos/metodologías de mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad

El TPM, originalmente empleado en el sector automotriz japonés, es ampliamente abordado en la literatura. En tal sentido, tiene diversas aplicaciones parciales, totales y variantes del original, pero todas ellas tratan de conservar su esencia de filosofía con principios generales, también denominados pilares. Así, fue necesario analizar dichas prácticas y estudiar sus resultados, ya sea usando el TPM de manera independiente, o en conjunto con el RCM, para adaptar tales buenas prácticas y modificar los elementos para que el modelo propuesto pueda tener un mayor impacto con el sector objeto de estudio.

La aplicación total del TPM logra resultados similares en mejora de disponibilidad y calidad al compararlo con su implementación parcial, resaltando los pilares de Capacitación y Educación, y Mantenimiento Autónomo [23], [24]. Aun así, ninguna investigación logra mejoras en referencias al OEE tan resaltantes como la implementación de esta metodología según la guía para la excelencia del JIPM [25].

En referencia a los tiempos de inactividad, el modelo de RCM con aplicación del método COFA [5] logra resultados significativamente superiores que los alcanzados por el método FMEA [26], a la vez de simplificar la metodología de análisis y reducir los cálculos de la misma.

Los resultados de la implementación parcial y/o focalizada del TPM y RCM son muy similares a la implementación total de estas metodologías, por lo que el punto óptimo se logra implementando los pilares más importantes del TPM principalmente el pilar de mantenimiento autónomo y el pilar de capacitación y entrenamiento, siguiendo el COFA a través de un modelo simple para el caso RCM.

En síntesis, tanto el modelo de gestión de mantenimiento como los indicadores a utilizar para lograr un modelo novedoso funcional adaptado al sector de estudio pueden seguir reglas y fases generales, sin embargo en referencia a los métodos de análisis y ejecución técnicos de mantenimiento, los métodos COFA y FMEA por parte del RCM tienen buenas cualidades a adoptar para priorizar los activos según distintos criterios, mientras que la aplicación parcial del TPM puede reducir el esfuerzo organizacional y maximizar los resultados, optimizando los recursos de la empresa.

E. Casos de éxito

Tabla I: Casos de éxito en la aplicación de las herramientas de gestión de mantenimiento TPM y RCM

Nro.	Referencia	Resultados
1	[7]	Reducción del número de errores humanos en 72.2%
2	[8]	Reducción de 12 millones en costos de operación.
3	[6]	Reducción de 26% del tiempo de inactividad y mejora de disponibilidad en 1.7% en comparación a las prácticas de mantenimiento actuales.
4	[23]	Aumento de disponibilidad en 8.9% y mejora de 10.7% con respecto a la reducción de pérdidas.
5	[25]	Reducción de costos de producción en 12%
6	[5]	Ahorro en el costo total de mantenimiento en un 52.17%. Aumento de la disponibilidad de 57.1% a 90.74% y aumento de la confiabilidad de 99.73% a 99.88%.
7	[26]	Reducción del tiempo de inactividad total entre 28% y 45%

En el primer caso de éxito, los autores analizan el proceso de costura en una empresa productora de calzado que presenta tiempos improductivos por fallas laborales con el fin de mejorar los estándares de producción a través de un modelo de implementación del TPM. La estructura del modelo planteado permite ejecutar las actividades para que la causa raíz detectada como tiempos improductivos debido a errores humanos se convierta en una oportunidad de mejora con altos resultados al final de la implementación. El modelo de implementación propone 10 pasos consecutivos desde el lanzamiento del TPM hasta la verificación de los resultados, resaltando el hecho de que los trabajadores estén especializados y que el mantenimiento se convierte en una actividad crítica, ya que una interrupción de la producción representa altos costos y puede representar un daño mayor. Como principal resultado, se obtiene que al implementar el programa de capacitación para convertir al personal en trabajadores de TPM, aumentaron los estándares de producción en un promedio de 5% y redujo el número de errores humanos en 72.2%.

De la misma manera, en el segundo caso los investigadores implementan la metodología TPM, pero en esta ocasión aplicada al sector automovilístico. Se analizan los indicadores clave de rendimiento TPM conocidos como productividad (P), calidad (Q), costo (C), entrega (D), seguridad (S) y moral (M) denominado como 'PQCDSM'. Se formaron grupos de mantenimiento autónomos para aumentar la capacidad de mantenimiento y la fiabilidad del equipo. Se organizaron exitosos programas de capacitación educativa, talleres y seminarios de los empleados que participaron en las actividades de TPM. Se recopilaron y analizaron datos relacionados con OEE, calidad (quejas de los clientes), mantenimiento, seguridad y pérdidas. El concepto 5S se introdujo para que el lugar de trabajo fuera limpio, ordenado y bien organizado. Dentro de los múltiples resultados alcanzados se evidencia una mejora significativa en el volumen de producción (de 78442 a 232200 piezas), en las quejas de los clientes (reducción de 64 a 10 puntos), en el

costo de las operaciones (reducción de 12 millones), en la velocidad del delivery (mejora del 16%), en el número de accidentes (mejora del 100%) y la moral de los empleados (reducción de la tendencia de absentismo del 15% a cero) que la planta automotriz seleccionada logró en el período objetivo de tres años.

El tercer caso de éxito tiene como objetivo mejorar la disponibilidad de la máquina de cardado a partir de la herramienta RCM. Los autores de la investigación emplean no solo la predictibilidad del FMEA, sino también lo combina con medidas preventivas concretas para reducir la frecuencia de falla y su impacto. La aplicación de las medidas propuestas da como resultado la reducción aproximada del 26% del tiempo de inactividad total y la mejora de disponibilidad de aproximadamente 1,7% en comparación con la disponibilidad debido a las prácticas de mantenimiento actuales.

La siguiente investigación aplicada a la línea de mecanizado de autopartes evidencia cómo el TPM produce mejoras sustanciales a la productividad. Los autores implementan los 8 pilares de la herramienta para aumentar no solo la disponibilidad sino también la eficiencia dentro de la línea y la empresa. La implementación estratégicamente de los pilares de TPM se realiza sobre la base de datos de fallas, y luego realizando un "análisis de causa raíz" exhaustivo para lograr una mejora dirigida. El pilar inicial implementado es el de mejora específica, seguido por el pilar de mantenimiento planificado y el pilar de mantenimiento autónomo, reduciendo así el tiempo de mantenimiento no planificado (falla inesperada) e impactando positivamente el OEE, MTBF y MTTR. Cabe resaltar que previo a ello, el pilar de educación y formación fue implementado como base de conocimiento y trabajo en equipo. El principal resultado en este caso de estudio luego de la implementación del TPM fue la reducción de las horas correspondientes al mantenimiento no planificado, así como el impacto porcentual en el número total de paradas durante ese semestre, lo que significó una mejora de 33.21% en términos de productividad. Asimismo, otros resultados que se pudieron observar luego de la implementación de dicha metodología fueron el aumento de disponibilidad (mejora del 8,9%) de las máquinas, la focalización eficiente de los recursos de mantenimiento (mejora del 18.75%) tanto en tiempo como en disponibilidad de repuestos debido a que la implementación de TPM promueve el mantenimiento de registros detallados para la máquina y la mejora de 10.7% con respecto a la reducción de las pérdidas en el sector productivo.

La aplicación del TPM bajo la guía del Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta (JIPM por sus siglas en inglés) es un claro caso de éxito donde a través del estudio de la guía y sus 12 pasos divididos en 4 fases (preparación, inducción, ejecución y establecimiento) logran alcanzar la excelencia productiva y eficiencia del negocio. Dentro de los principales resultados obtenidos se evidencia que el OEE incrementó de 46% a 73.1% en la fase I del TPM, mientras en la fase II de 73.1% a 85.5%. El número de quejas de clientes se redujo de 150 a 0. Los costos de producción se redujeron en 12% y el inventario cayó un 35% luego de completar la segunda fase. Los indicadores de PQCDSM,

también analizados por otros autores previamente referenciados, tuvieron mejoras menores en proporción.

El sexto caso de aplicación con resultados exitosos es el novedoso marco aplicativo del RCM, el cual adopta los modelos RCM clásicos y simplificados para formular el modelo propuesto para que sea más eficaz y eficiente, es decir, se centra en las funciones principales del sistema en aras de prevenir o eliminar las acciones de mantenimiento que no son necesarias e identificar tareas de mantenimiento efectivas. El marco novedoso consta de 12 pasos donde se resalta su detalle y simplicidad sobre el proceso, datos a recopilar, acciones a tomar y resultados a obtener. Finalmente, la nueva metodología de RCM logra disminuir el tiempo de inactividad por mantenimiento correctivo y preventivo en un 55.77% y 52.17%, respectivamente, lo que genera una reducción en los tiempos de inactividad que conduce a un ahorro en el costo total de mantenimiento en un 52.17%. Además, los resultados revelan que la disponibilidad y confiabilidad aumenta de 57.1% a 90.74% y de 99.73% a 99.88%, respectivamente

Por último, la investigación y aplicación de otro modelo novedoso de RCM con un enfoque simple por parte de los autores demuestra resultados resaltantes al superar complejidad del RCM. En este modelo, los componentes se clasifican debido a su importancia para aplicar el tipo de mantenimiento adecuado. El RCM se aplica de manera diferente según el nivel del sistema o componente. Si bien existen tres enfoques de la estrategia, la selección de estos enfoques generalmente se basa en las consecuencias de la falla, la probabilidad de falla y el modo de falla, la disponibilidad de los recursos necesarios, la disponibilidad de los datos históricos, la criticidad y el riesgo, etc. Sin embargo, la aplicación del enfoque RCM simple adopta el nivel de componentes, ahorra tiempo y costos, y sus conceptos son fáciles de entender, aplicar y modificar empleando el COFA en lugar del FMEA en 3 fases. En lo referente a resultados, el plan de mantenimiento propuesto es muy útil en la práctica, ya que reduce el tiempo de inactividad total entre 28% y 45% (dependiendo del componente analizado) y el costo total de mantenimiento. Asimismo, reduce el consumo de repuestos y mejora la RAM del sistema considerado.

III. APORTE

A. Diagnóstico

El problema de mayor incidencia para la empresa en referencia a la Calidad de sus Servicios Náuticos, Presupuesto Anual en forma de costos y Afectación al Personal es el **corto tiempo de vida útil de los activos**. Por lo cual, tras realizar un estudio comparativo con los tiempos de vida útil por cada una de las embarcaciones (sus activos), se pudo evidenciar como en promedio las embarcaciones del Centro Naval duraban 2.8 años menos (35%) que su competidor el Club Regatas Lima (*Ver figura 1*), empresa similar en el sector.

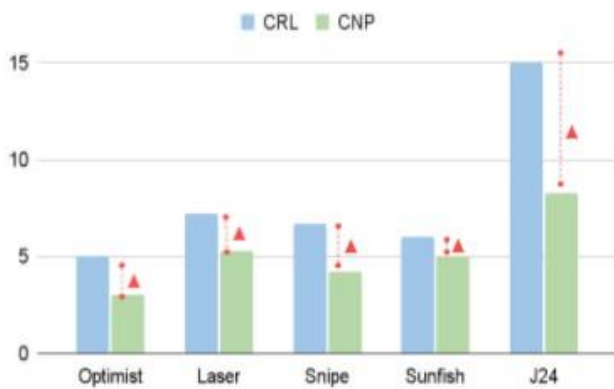


Figura 1: Estudio comparativo de tiempos de vida útil (en años) de flota

La problemática impacta directamente en los costos incurridos en cada una de las embarcaciones (34 en total) para mantenerlas operativas. En general, la empresa gasta alrededor de 90 mil soles por año en el mantenimiento de sus activos, de lo cual cerca del 45% de este monto (S/. 40,810.00) son considerados directamente como sobrecostos anuales con respecto a la brecha técnica.

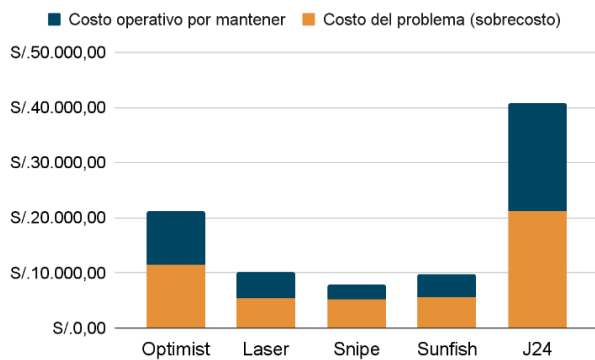


Figura 2: Estudio comparativo de los costos operativos por embarcación

Posteriormente, al analizar las causas y consecuencias del problema, se evidenció cómo el corto tiempo de vida útil de los activos náuticos es generado principalmente por 3 motivos los cuales son los fallos sistemáticos y operativos del activo, que tiene como causas el deficiente calibrado de sistemas de manejo de vela (i) y errores en el armado y desarmado de sistemas auxiliares (ii), el segundo motivo que es el desgaste acelerado generado por un deficiente mantenimiento correctivo (iii) y ausencia de mantenimiento preventivo (iv), y el último motivo que son las roturas en el activo, causado por el inadecuado método de navegación o manipulación (v) y adquisiciones de material de baja calidad (vi).

La primera de ellas (i), abarca los errores y fallos al momento del armado de la embarcación referentes directamente a los sistemas que regulan la posición de las velas (sistemas de Sprit o pico, sistemas de Vang, sistemas de Outhaul, escotas, drizas, cabos y puños en general), previo a su salida al mar, y a posteriori de su regreso a tierra, al momento del desarmado. Básicamente los sistemas de manejo de velas mal colocados en tierra puede que no sean regulados en el mar, por lo que pueden provocar fallos al

momento de la navegación tanto recreativa como de competencia que tienen repercusiones en el ámbito económico, como en la seguridad de los navegantes.

La segunda causa (ii) hace referencia a todos aquellos sistemas ligados al manejo del casco y sus partes (sistemas de orza, sistemas de timón, sistemas de traveler, sistemas de flotación, entre otros) que son colocados o desarmados de la embarcación de manera inadecuada, provocando durante su operación o almacenamiento el deterioro de sus capacidades de manera parcial o total, como el caso de las roturas de casco, oxidación de ejes, o absorción de humedad por parte de los activos, todo ello teniendo nuevamente repercusiones en los ámbitos de seguridad y económicos.

La tercera causa está asociada al deficiente mantenimiento (iii) que se les da a las distintas partes de la embarcación en general cuando sufre alguna rotura por colisión de barco, descosido de vela, u otros, y deben ser reparados. Cuando estas reparaciones no tienen las debidas consideraciones y con ello un trabajo de calidad, se vuelve a producir algún tipo de fallo que tiene un impacto tanto económico, como en los ámbitos de seguridad y deportivo, ya que afecta las capacidades del activo y con ello el desempeño de los navegantes competitivos.

La siguiente causa asociada a la ausencia de mantenimiento preventivo (iv) aborda las situaciones que, debido a no contar con medidas y cuidados de prevención para con los activos, se generan de manera contraproducente contra los mismos al ir limitando sus capacidades con el paso del tiempo, llevándolo al desgaste de manera progresiva por no realizar, por ejemplo, el aceitado de las poleas y ejes metálicos de manera periódica antes de que los rodamientos a ejerzan fricción en demasía y provoquen su desgaste hasta su inoperatividad.

La quinta causa (v) incluye todo lo referente al método de navegación en distintos rumbos, maniobras, recorridos, competencias, embarques, desembarques y condiciones meteorológicas a las cuales se deben enfrentar las tripulaciones de las embarcaciones y en ocasiones, su inadecuada e inexperta operación provocan las roturas, quiñes, descosidas, entre otros.

Finalmente, la última causa (vi) engloba las roturas relacionadas al material adquirido, el cual en muchos casos no es el adecuado para la función requerida al no soportar el esfuerzo físico necesario para la operación, teniendo como principal efecto la rotura del activo. Casos como la compra de cuerdas de 4 mm donde es requerido un grosor de 6 mm (con mayor resistencia a la tensión), o tornillos cadmiados o galvanizados en vez de inoxidable (con mayor resistencia a la oxidación), son casos comunes donde al requerir de manera urgente alguno de estos materiales para la operación y utilización de las embarcaciones y no contar con el material específico, se termina por optar por sustitutos que finalmente quedan como perennes en los activos náuticos hasta que ocurre alguna rotura como las ya mencionadas.

En ese sentido, con la finalidad de dar solución a las causas del problema, se optó por diseñar una propuesta de modelo que permita alargar la vida útil de los activos de la empresa en estudio. La propuesta presentada a continuación es el resultado del análisis de artículos científicos y la evaluación de las metodologías a utilizar.

B. Modelo de solución

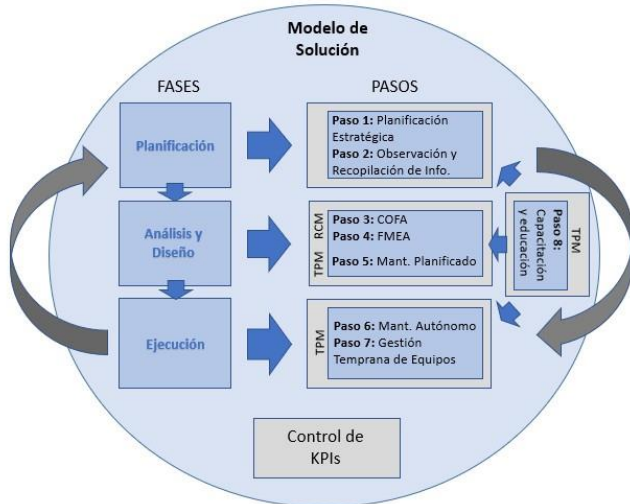


Figura 3: Modelo propuesto de solución

El modelo presentado está basado en las diversas técnicas de las metodologías RCM y TPM en pro de aumentar el tiempo de vida útil de los activos náuticos y en consecuencia reducir el costo total incurrido a lo largo de las etapas del ciclo de vida del mismo. Mediante este modelo de solución se busca coordinar las etapas del activo; el conocimiento y funciones de toda la organización como planificación, compras, recursos humanos, operaciones y

mantenimiento, con el fin de preservar los activos náuticos de manera óptima. Asimismo, el modelo está enfocado en la mejora continua para solucionar los nuevos problemas que se vayan presentando en los activos náuticos.

En ese sentido, el modelo se caracteriza por su estructuración sencilla en 3 Fases: Planeación, Análisis y Diseño, y Ejecución, los cuales contienen una serie de pasos que posteriormente se detallarán, así como también un control de indicadores a todo nivel para evaluar el desempeño del modelo.

PRIMERA FASE

Paso 1. Planeación estratégica

El primer paso consiste en establecer un norte fijo y enfocar los esfuerzos. Este inicia con la Planificación de la Gestión de Mantenimiento, alineando los objetivos generales y específicos de la gestión con la Misión y Visión de la Empresa. Adicionalmente, se consigna una Acta de Constitución para dar inicio formal al proyecto y dotar de autoridad al jefe de proyecto para disponer los recursos del mismo. En este documento se consideran elementos como el cronograma, presupuesto, registro de riesgos y recursos a alto nivel. Por último, cabe resaltar que el inicio del proyecto incluye una comunicación, difusión y educación del mismo a toda la organización, como estipulan las buenas prácticas del TPM.

Paso 2. Observación y recopilación de información

El segundo paso busca recopilar información sobre los materiales y personas de la organización con el fin de reconocer los recursos de la misma. Por ello, se identifican los activos a analizar y se descomponen, para determinar cada una de sus partes y codificarlas, facilitando su registro y trazabilidad. Asimismo, conocer las habilidades adquiridas a

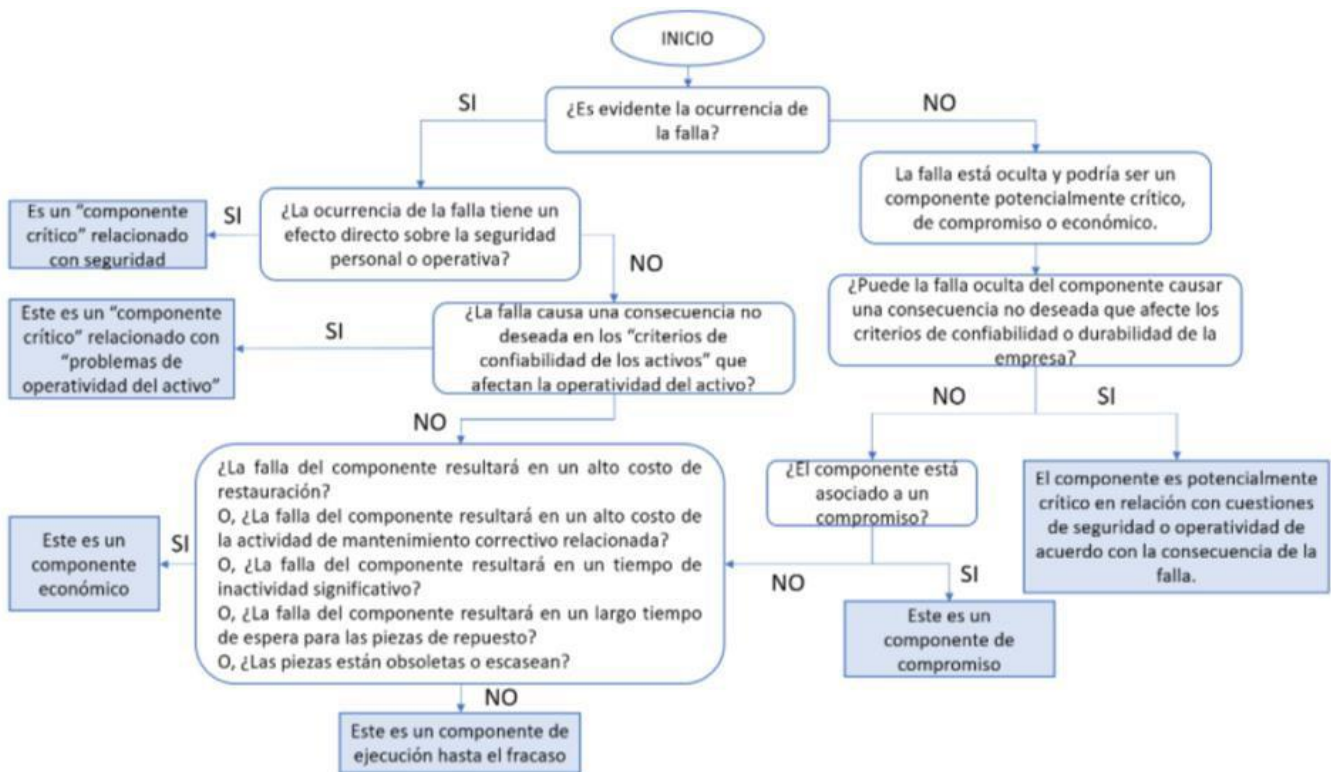


Figura 4: RCM – Árbol Lógico COFA

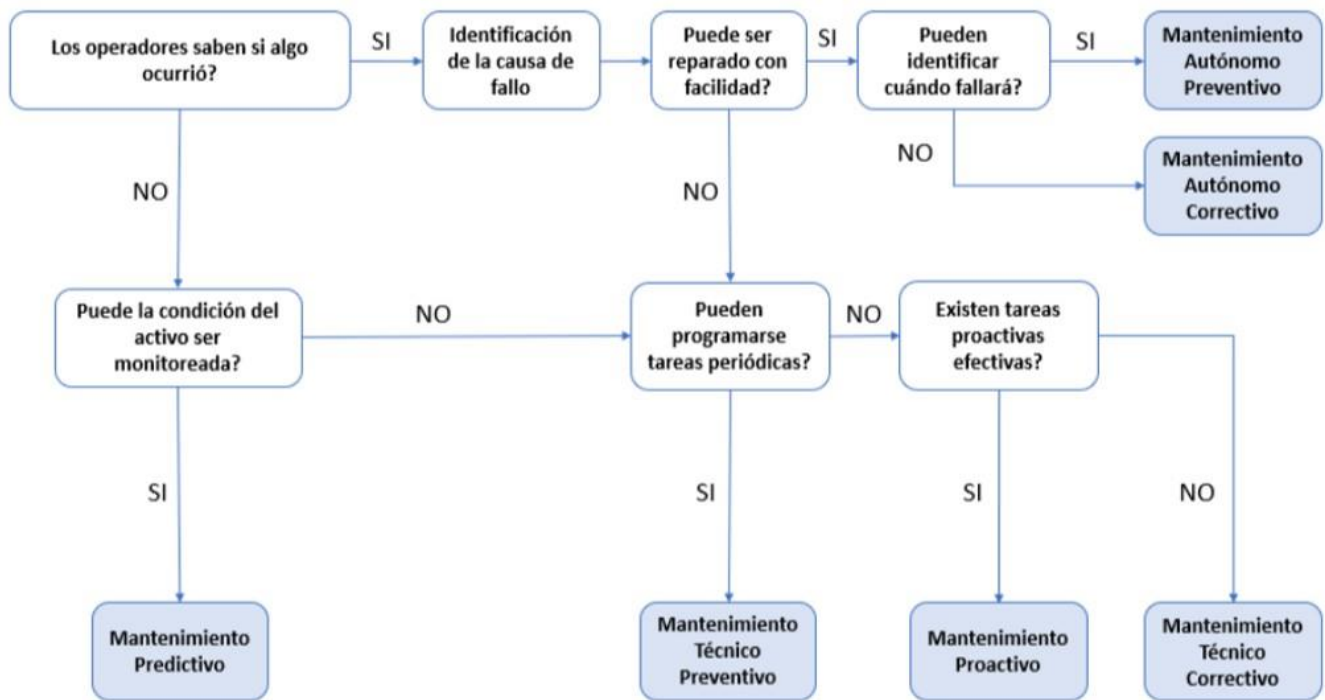


Figura 5: RCM – Árbol Lógico FMEA

lo largo del tiempo del personal relacionado al mantenimiento y operación de los activos es clave, ya que serán pieza fundamental de la gestión operativa y contribuirán a los análisis técnicos posteriores.

SEGUNDA FASE

Paso 3. COFA

El tercer paso involucra el análisis de las consecuencias de los fallos de los activos. Esto se facilita mediante la aplicación del Árbol de Decisión Lógico COFA (Ver figura 4) para determinar el grado de Criticidad de cada uno de los activos previamente identificados. Tanto los componentes críticos, como los potencialmente críticos, los componentes de compromiso y los económicos pasarán al siguiente análisis, ya que aquellos clasificados como prioridad 6 no tendrán acciones de mantenimientos por realizar y solo se deberán usar hasta que eventualmente falle y sea reemplazado.

Paso 4. FMEA

El cuarto paso recopila la información inicial del paso anterior, es decir los activos codificados, sus funciones y sus consecuencias de fallo, para determinar mediante el criterio de Severidad el grado de impacto del fallo. También se determinan la dificultad de Detección y la probabilidad de Ocurrencia mediante un análisis de modos, causas y controles de fallo, todos ellos cuantificados según sus respectivas escalas del 1 al 10. El producto de tales criterios da como resultado un índice de riesgo, que clasificará nuevamente a los componentes previamente mencionados y extraerá a los de Riesgo Intolerable e Inaceptable. Estos activos tienen un análisis de decisión que determina el tipo de mantenimiento a aplicar (Ver figura 5).

5. Mantenimiento planificado

El presente paso permitirá integrar acciones y/o actividades de mantenimiento para prevenir y corregir averías en equipos a través de rutinas diarias, periódicas y predictivas. Mediante los análisis previos, se obtiene una priorización de activos por criticidad y por riesgo, así como medidas compensatorias, tipos de mantenimiento, frecuencia e incluso tareas específicas. De esta manera, se realiza toda la planificación del mantenimiento (ver figura 6), integrando acciones de diversos grupos involucrados y programando las tareas para que en perfecta sincronía se aterricen en procedimientos, planes, cronogramas, formatos, manuales, entre otros documentos de valor para la gestión.

TERCERA FASE

6. Mantenimiento autónomo

El paso de mantenimiento autónomo contribuirá en gran medida a reducir pérdidas significativas de tiempo de inactividad no planificado del activo haciendo responsables del proceso a los operadores de cada embarcación. Así pues, el *know-how* que se les otorgará a los operarios de las embarcaciones permitirá que realicen actividades simples autónomos de mantenimiento correctivo y preventivas, evitando que el activo sufra un daño considerable que acelere el desgaste del mismo. Asimismo, permitirá que los operarios realicen inspecciones preventivas para identificar problemas en los activos y mantenerlos operativos. El documento clave de este paso se tiene la FICHA DEL OPERADOR, que detalla funciones, tareas de calibración y mantenimiento preventivo a realizar por cada uno de los responsables.

7. Gestión temprana de equipos

El paso de gestión temprana de equipos propone mejoras en la etapa inicial de ADQUISICIÓN del ciclo de vida del activo náutico. En ella, se desarrollan lineamientos de adquisición de partes y piezas náuticas con tal grado de detalle que incluyen las especificaciones técnicas de

Programación de mantenimiento - Centro Naval sede Club Náutico

Embarcación / Clase	Código	Activo	Criticidad	Riesgo	Tarea / Medida Compensatoria	Frecuencia	Responsable	Cumplimiento semanal				
								1	2	3	4	5
Optimist #1	OPT-MAS-01	Mástil	Critico	Permisible	Capacitar a navegantes para que sepan cómo y cuándo hacer la manobra	Semestral	Instructor					
					Reforzar importancia del enguaje de mástil luego de cada sesión de navegación	Mensual	Instructor					
Optimist #1	OPT-MAS-03	Abrazadera	Critico	Permisible	Revisión de textura y otras condiciones físicas del jabe	Mensual	Instructor					
					Realizar inspección de seguridad previo al embarque	Diaria	Instructor					
Optimist #1	OPT-MAS-04	Mordaza de dientes	Critico	Aceptable	Realizar inspección de agarre previos al embarque	Diaria	Instructor					
Optimist #1	OPT-MAS-06	Pin de contravang	No tan critico	Aceptable	Revisar que no haga juego durante la calibración	Mensual	Instructor					
Fecha:												

Figura 6: Formato de programación de mantenimiento

operatividad y mantenibilidad que deben cumplir los activos. A su vez, se proponen otras medidas centradas en mejorar el flujo de información entre las áreas operativas y administrativas para hacer más rápidas las órdenes de compra.

8. Capacitación y educación

El paso de capacitación y educación tiene como objetivo aumentar las capacidades y habilidades de los empleados por medio de cursos y capacitaciones brindadas a los operarios encargados de operar las embarcaciones y empleados administrativos de la organización. Este es un paso de soporte que se debe realizar en paralelo a todos los anteriores. Los temas a capacitar y educar en, son referentes a conceptos básicos de las metodologías, manipulación y uso de los activos, mantenimiento adecuado, y lectura y llenado de formatos a utilizar.

Como consecuencia de la aplicación de cada uno de los pasos del modelo, se reflejarán mejoras en dos perspectivas fundamentalmente abordadas desde la determinación de las causas raíz del problema. En primer lugar, el aumento del tiempo de la vida útil de la flota de embarcaciones se materializará en reducciones de tiempos de inactividad por menor cantidad de roturas en los activos, además de incremento de la confiabilidad en el tiempo de funcionamiento adecuado bajo condiciones de navegación estándar, y en la disminución de errores humanos durante la calibración de diversos sistemas de las embarcaciones. En segunda instancia, la reducción del costo del ciclo de vida de estos activos se evidenciará con menores costos incurridos por reparación producto de errores humanos durante su operación, y también en menores costos globales de mantenimiento al mejorar los procesos correctivos y preventivos del mismo.

C. Indicadores del modelo

El logro del objetivo de este caso de estudio se mide a través de los indicadores, los cuales evalúan la mejora con respecto al tiempo de vida promedio de la flota, y los costos operativos y de mantenimiento anuales de los activos. Los componentes se muestran con mayor detalle en la tabla II.

Tabla II: Indicadores de los objetivos generales del modelo

Indicador	As Is	To Be	Mejora
Tiempo de Vida Útil promedio de flota	5 años	7 años	+40%
Costo Operativo y de Mantenimiento Anual	S/. 89,770	S/. 67,000	-25%

Según la diversa información encontrada en casos de éxito y la experiencia del juicio experto en el sector, se estimaron mejoras porcentuales de 40 y 25 puntos en los indicadores mencionados previamente.

IV. VALIDACIÓN

A. Escenario de la validación

1) Piloto

Se realizó un piloto como parte de la validación de la propuesta de implementar las herramientas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y Mantenimiento Productivo Total (TPM) en activos náuticos. Para ello, primero fue necesario entender las consideraciones para llevar a cabo exitosamente el piloto y evitar posibles errores en los resultados. Asimismo, fue necesario tener conocimiento del alcance del piloto, para el cual se seleccionó **5 embarcaciones Optimist** como línea base para implementar la propuesta de solución. Una vez implementada, en un periodo de 4 meses, nuestra propuesta de solución en la línea seleccionada, se realizaron estimaciones paramétricas a un año con la finalidad de comparar los resultados esperados con los obtenidos a partir de los hallazgos.

B. Diseño de la validación

1) Desarrollo

En primera instancia, se identificaron cada uno de las piezas de línea Optimist, detallando a qué sistema y subsistema pertenecen, así como codificando cada uno de ellos y cuantificando la cantidad de stock de los mismos. A continuación, se muestra un extracto de la lista de los 69 activos de la embarcación Optimist.

Embarcación	Sistema	Subsistema	Activo	Código	Función	Cantidad	Unidad
Optimist	Mástil	Mástil	Mástil	OPT-MAS-01	Sujeta verticalmente la vela	21	PIEZAS
Optimist	Mástil	Indicadores de viento	Veleta	OPT-MAS-02	Indicar dirección del viento	20	PIEZAS
Optimist	Mástil	Seguro	Abrazadera	OPT-MAS-03	Asegura mástil a la bancada	20	PIEZAS
Optimist	Mástil	Herrajes	Mordaza de dientes	OPT-MAS-04	Sujeta el cabo en un punto	45	PIEZAS
Optimist	Mástil	Herrajes	Cuello de arco de fogonadura	OPT-MAS-05	Previene movimiento lateral y transversal del mástil	40	PIEZAS
Optimist	Mástil	Herrajes	Pin de contravang	OPT-MAS-06	Sujeta cabo de contravang	20	PIEZAS
Optimist	Mástil	Herrajes	Tapón	OPT-MAS-07	Previene ingreso de agua al mástil	21	PIEZAS
Optimist	Botavara	Botavara	Botavara	OPT-BOT-01	Sujeta horizontalmente la vela	22	PIEZAS
Optimist	Botavara	Herrajes	Mordaza en V	OPT-BOT-02	Sujeta el cabo en un punto	25	PIEZAS
Optimist	Botavara	Herrajes	Terminación en popa	OPT-BOT-03	Previene ingreso de agua a la botavara y facilita regulación del burgo	19	PIEZAS
Optimist	Botavara	Herrajes	Boca de cangrejo	OPT-BOT-04	Use botavara al mástil, permitiendo movimiento	20	PIEZAS
Optimist	Botavara	Herrajes	Guicabos	OPT-BOT-05	Permite tener un punto de apoyo para armar pata de gallo	41	PIEZAS
Optimist	Botavara	Pata de gallo	Aro metal	OPT-BOT-06	Facilita la unión de la botavara y la escota en un punto	19	PIEZAS
Optimist	Botavara	Pata de gallo	Dynsema 3mm	OPT-BOT-07	Conecta la escota con la botavara	27	METROS
Optimist	Botavara	Burro	Polyester SB 4mm	OPT-BOT-08	Regula la curvatura de la vela en la bolsa	9	METROS
Optimist	Botavara	Vang	Polyester SB 5mm	OPT-BOT-09	Mantiene la botavara perpendicular al mástil	5.4	METROS
Optimist	Botavara	Cabalería	Vectran 3mm	OPT-BOT-10	Conecta el vang con la botavara	5.4	METROS

Figura 7: Extracto del formato de identificación de activos de la línea Optimist

De esta manera, los activos de la clase Optimist fueron identificados y categorizados según los métodos COFA y FMEA del RCM, ayudando a identificar las piezas más críticas, las pertenecientes a los sistemas del casco y la vela, así como las de mayor riesgo, como los sistemas de palos, timón y orza.

Del total de piezas, fueron 25 las que se categorizaron como componentes críticos por su seguridad u operatividad, mientras 6 fueron consideradas componentes potencialmente críticos, 12 fueron componentes no tan críticos, y 15 fueron descartadas de los análisis posteriores por ser clasificadas como componentes no críticos.

Asimismo, según su riesgo, fueron categorizadas las 10 piezas de esta embarcación que requieren una gestión activa y urgente como activos intolerables e inaceptables, así como las 23 que necesitan de acciones repetitivas y más flexibles como activos permisibles y aceptables, y las 21 que no requieren de programación de actividades de mantenimiento, sino sólo de acciones de verificación esporádicas, como activos depreciables.

Una vez habiendo priorizado los activos según su criticidad y riesgo, se elaboraron los planes de mantenimiento respectivos, que incluían frecuencia y las tareas específicas a realizar. Asimismo, se creó un manual de uso y mantenibilidad por cada uno de los activos principales de la embarcación tipo Optimist. Los mantenimientos preventivos fueron realizados y registrados en la programación del mantenimiento (Ver figura 7), para dar conformidad de la buena aplicación del modelo.

En referencia al pilar de mantenimiento autónomo, se creó una ficha del operador, para garantizar el cumplimiento individual de tareas de mantenimiento por cada usuario de la embarcación. La ficha del operador detalló tanto cuidados generales de cada activo en particular, como formas de realizar ciertos procesos operativos como ingreso o zarpe del muelle, reparación de sistemas en el agua, medidas de seguridad contra desastres naturales, entre otros procesos y actividades.

Cabe resaltar que se inició con las capacitaciones al personal participó del piloto, en pro de informar, sensibilizar y acondicionar al personal acerca de las actividades, procesos y planes del modelo.



Figura 8: Mantenimiento de las embarcaciones Optimist en el Club Náutico La Punta

2) Resultados

Tiempo de Vida Útil

Tabla III: Resultados obtenidos antes y después del proyecto piloto

Datos	Actual	Mejora	Variación
Fallos sig. anuales promedio por barco	8.84	6	-32.13%
Tiempo de vida medio (años)	2.94	4.33	47.33%

Se usó un método de medición indirecto, el cual constó de una estimación paramétrica a partir de la variable fallos. En ese sentido, se recopiló la información referente a los fallos del presente mes de setiembre para las embarcaciones que conformaron el piloto, dando un ratio de fallos significativos de 0.5 por embarcación, menor al de las embarcaciones que no conformaron el piloto. Así, mediante una extrapolación, se determinó que la mejora en la cantidad de fallos es de 32.13%, se traduce en una mejora del tiempo de vida de las embarcaciones Optimist en 47.33%.

Costos Operativos y de Mantenimiento

Tabla IV: Resumen de resultados referentes a costos de operación y mantenimiento en línea Optimist extrapolados al año

Año	2021
Costo unitario pronosticado	S/ 1,300.84
Costo unitario nuevo - piloto	S/ 1,036.80
Ahorro neto en costos operativos	S/ 263.93
Variación	20.29%

Se obtuvo un costo promedio de 86.41 soles, costo menor al de las embarcaciones que no fueron escogidas para el piloto (108.4 soles). Este nuevo costo operativo unitario se extrapoló a todo un año, con el fin de pronosticar la variación en función al costo inicialmente proyectado sin la mejora. El ahorro proyectado tras un año de proyecto, estimado a partir de los resultados obtenidos del piloto, es de 20.29%.

C. Viabilidad Económica

Asimismo, se realizó una evaluación económica del proyecto, tomando en cuenta que la inversión total al inicio del proyecto (Año 0) asciende a S/20,698.40 considerando costo del capacitador, costo de materiales y herramientas, y costo del personal que participará en el proyecto. Este monto será solicitado a la institución armada para que pueda ser incluido dentro del presupuesto anual del Centro Naval del Perú antes del inicio del proyecto. En ese sentido, los resultados de los indicadores financieros a partir del flujo de caja proyectado a 5 años, son los siguientes:

Tabla V: Indicadores financieros

VAN	S/ 9,083.64	VAN > 0
TIR	21.42%	TIR > 8%
RBC	1.44	RBC > 1

Los indicadores financieros utilizados son los generalmente evaluados en proyectos, sin embargo, donde el proyecto tiene un factor diferenciador es en el costo de oportunidad (COK), que para el proyecto es la Tasa Social de Descuento (TSD), definida por el MEF en 8% para proyectos en el sector estatal, como el caso del presente trabajo de investigación, debido a que tiene mayor impacto social que de otra índole. En conclusión, se puede observar en la tabla resumen de indicadores financieros que el Valor Actual Neto es mayor a 0, la Tasa Interna de Retorno es mayor al Costo de Oportunidad y que el Ratio Beneficio Costo es mayor a la unidad, lo significa que el modelo propuesto es económicamente viable.

D. Impactos del proyecto

El modelo de gestión tiene por sobre todo un impacto en el ámbito social, debido a que se alinea con los objetivos de la empresa.

1) Institucional

El ahorro en sobrecostos permitirá destinar los recursos para la compra de repuestos e incluso, embarcaciones completas. Tales adquisiciones se traducirían en un incremento de la promoción de actividades marítimas, misión principal del Club Náutico.

Lo recaudado, calculado mediante el VAN obtenido de S/9,000.00, posibilita la compra de hasta dos embarcaciones Optimist full equipo de segunda mano (precio de mercado). Esto permitirá incrementar la flota actual competitiva del CNP en 22% para el 2031, récord histórico para la flota competitiva del club con 28 navegantes.

2) Deportivo

En el ámbito deportivo, los mismos deportistas se verían beneficiados por el incremento de flota del club, ya que es bien sabido en el medio que el tamaño de flota es directamente proporcional al nivel y profesionalismo de sus deportistas. Esto significa que, a mayor cantidad de deportistas que entrenen juntos, mejor desenvolvimiento

tendrá durante la competición deportiva nacional (táctica y técnicamente), obteniendo así mejores resultados individuales y colectivos.

Existe también un desarrollo del deporte a nivel nacional debido a la mejora de las condiciones de los deportistas del club, ya que incrementa la competitividad dentro del país, elevando el nivel competitivo de los navegantes y al tener que representar al país en campeonatos internacionales, podrán hacerlo de mejor manera.

V. DISCUSIÓN

En esta sección se analizaron los problemas, aplicación y resultados de las buenas prácticas de TPM, RCM y gestión de mantenimiento de diversas investigaciones en diferentes sectores, con el fin de discutir sus resultados en estos dos escenarios y compararlas con los obtenidos en la presente investigación sobre el sector náutico estudiado.

Escenario 1:

En los estudios de [23], [24] y [27], el problema de deficiente productividad, sumado a la baja disponibilidad, eficiencia y calidad de los equipos provocan pérdidas en sus respectivos sectores manufactureros. En ese sentido, la metodología TPM es empleada como principal herramienta para solucionar tales problemas, ya sea que se aplique en su totalidad como en [9], [23] y [25], como de manera parcial, tomando solo ciertos pilares que consideran más importantes para conseguir resultados de manera eficiente, casos de [28], [24] y [27].

Los casos donde se aplicó de manera integral el TPM resaltan metodológicamente por abordar muchos aspectos. [23] por un lado aplica los 8 pilares del TPM, posterior a la implementación de las 5S, como medio sistemático para evitar pérdidas y aumentar la productividad. Así, pudo reducir el tiempo de mantenimiento no planificado (falla inesperada), impactando positivamente en el OEE, MTBF y MTTR. [25] en comparación, lleva a cabo una implementación del TPM más ordenada y exhaustiva, optando por desarrollar hasta 12 pasos en 4 fases (adaptados de la guía JIPM). También se evidencia una planificación mucho más rigurosa. Otro factor diferenciador sin duda las dos corridas hechas en su proyecto, obteniendo un doble efecto de mejora en sus resultados por la repetición de las actividades.

Por otra parte, aquellas investigaciones donde se buscó optimizar los recursos y obtener los mejores resultados con el TPM coincidieron en que los pilares más importantes eran los de Mantenimiento Autónomo y de Capacitación y Educación [24] y [27]. En base al análisis sus respectivos equipos y sus componentes, se elaboraron planes más acertados con respecto a las fallas que debían prevenirse, logrado a través del mantenimiento autónomo la prevención de las fallas a un muy bajo costo y con resultados inmediatos. Asimismo, para garantizar el éxito de sus proyectos pilotos, fue necesario capacitar, evaluar y dar seguimiento al personal operativo que manipulaba los equipos.

Así, la implementación total del TPM [23] evidencia un aumento de la disponibilidad de las máquinas en alrededor 10%, muy similar a lo conseguido aplicando solo dos pilares

de esta herramienta [24] y [27]. Esto ratifica que el punto óptimo de la relación beneficio/costo se encuentra en la aplicación de estos dos pilares. De manera similar, el piloto del presente proyecto de investigación logra aumentar el indicador principal (tiempo de vida útil) a partir de la reducción en fallos en los activos (indicador inversamente proporcional a la disponibilidad), en gran medida gracias a la estructuración central y coordinada de los pilares de mantenimiento autónomo y de capacitación y educación. Aun así, el piloto obtiene resultados muy superiores en referencia a la cantidad de fallos (32.13%) debido a que, en comparación a los casos previamente mencionados, integra el análisis proactivo del RCM en su modelo y de esa manera, se anticipa a su ocurrencia de manera directa y mucho más exhaustiva analíticamente, a diferencia del TPM.

Por otra parte, [25] logra reducir un 12% solo en costos de producción, dejando fuera de este cálculo los costos de mantenimiento, que se estiman fueron logrados en una misma proporción. Por parte del presente trabajo de investigación, el proyecto piloto obtiene resultados similares, en suma, ya que los costos de operación y mantenimiento fueron cuantificados en conjunto y reducidos en 20.29%.

Escenario 2:

Las investigaciones de [6] y de [26] tratan problemas relacionados a los tiempos de inactividad y de vida útil de diferentes máquinas, respectivamente. Adicionalmente, [21] estudia los problemas en los equipos y se preocupa también por los altos costos en que un hospital debe incurrir para mantenerlos operativos. Estos problemas de tiempos y costos son abordados por el presente trabajo de investigación, y también comparten (los casos de estudio) la aplicación de la misma herramienta para solucionarlos: el RCM. Sin embargo, para [5], el problema se dificulta al no obtener resultados a estos problemas con los modelos de RCM existentes según él “deficientes”, donde no proponen acciones con equipos no críticos ni proponen métricas de mantenimiento. Además, no presentan flujo de órdenes de trabajo de mantenimiento.

En ese sentido, a lo largo de la literatura existen diferentes formas de realizar los análisis del RCM que muestran resultados diversos. [6] y [21] emplean el FMEA del RCM con lo que evalúan las formas en que un equipo o subcomponente pueda fallar, al igual que [19] que adicionalmente prioriza los tipos de fallo de mayor riesgo con el sistema RPN. De manera similar, [5] emplea el RCM con la herramienta FMECA, donde se agrega el componente “criticidad”, agregando otro criterio para priorizar los equipos. Asimismo, entre los 12 pasos de su modelo, destaca el análisis de árbol lógico (LTA por sus siglas en inglés), abordado en la literatura cada vez con mayor frecuencia, como lo demuestran [20] y [26], este último con un enfoque de RCM simplificado, estructurado en 3 fases y 7 pasos, que, a diferencia de otros estudios, emplea la herramienta COFA (modelo simplificado del FMEA centrado en las consecuencias de fallo) para atacar su problema, y utilizando el árbol lógico para definir las tareas de mantenimiento de forma ordenada. Por su parte, el presente trabajo de investigación recopila estos componentes (COFA, FMEA, RPN y LTA) y los agrega al modelo de gestión con el fin de

emular las prácticas diferenciadas que provocan mejoras significativas.

De esta manera, la aplicación del RCM con la herramienta FMEA en los casos de [6] y [21] muestran reducciones del 26% de tiempos de inactividad y ahorros en costos de mantenimiento entre 6 y 16% en comparación con los enfoques tradicionales, respectivamente. Sin embargo, al aumentarle el factor del análisis de la criticidad de los equipos, como en el caso de [5], las mejoras incrementan, obteniendo reducciones de hasta 55.77% en tiempos de inactividad por mantenimiento correctivo, de 50% en tiempos de inactividad por mantenimiento preventivo y de 52.17% en costos totales de mantenimiento. Si bien es cierto el FMECA tiene resultados impresionantes, no se debe descartar el COFA, el cual, de manera más sencilla, y en conjunción con los análisis de árbol lógico, logran resultados bastante aceptables, reduciendo el tiempo de inactividad total entre 28% y 45% (dependiendo del componente analizado). En esencia, el modelo de gestión propuesto demuestra que tanto el COFA como el FMEA no son mutuamente excluyentes, sino que cumplen la función de doble filtro para descartar más rápido los activos de menor criticidad, y posteriormente pasar a analizar y priorizar con el RPN los activos de mayor riesgo con el fin de enfocar los esfuerzos de planificación y ejecución de mantenimiento. Así, los resultados relacionados a tiempos, específicamente los tiempos de vida útil de las embarcaciones, exceden los objetivos trazados y se asemejan en gran medida a los resultados de las mejores prácticas de la literatura, logrando una mejora a nivel de flota de 47.33%.

VI. CONCLUSIONES

Fueron 04 los problemas identificados para la organización objeto de estudio, de entre los cuales se decidió abordar aquel relacionado al corto tiempo de vida útil de los activos náuticos, por tener mayor repercusión (41.68%) sobre los factores analizados, mediante una matriz de ponderación, de (i) calidad de servicio, (ii) costo y (iii) personal. Tal problema provocaba una brecha actual de 35% con relación a su competidor directo, así como un impacto económico en forma de sobrecostos de operación y mantenimiento de S/. 40,810.00 anuales (45% por encima del estándar).

En ese sentido, se decidió enfocar los esfuerzos en herramientas de gestión que tengan un enfoque más global que solo la parte técnica de mantenimiento. Así, se desarrolló un modelo que integra las técnicas TPM y RCM, las cuales son muy útiles tan como filosofía organizacional para poder integrar diversas áreas relacionadas a la gestión de los activos náuticos, por el lado del TPM, así como también como un marco de trabajo analítico para priorizar y establecer acciones de mantenimiento específicas de acuerdo con criterios de riesgo, criticidad, entre otros, por parte del RCM. Si bien es cierto, herramientas como el CBM y RBI tienen resultados importantes en otros sectores, su impacto en activos dinámicos dentro de una organización que requiere un cambio cultural es bajo, por lo que no son tomados en cuenta para el modelo.

Para validar el modelo propuesto, se realizó un proyecto piloto en 5 embarcaciones Optimist, línea de embarcaciones más numerosa y de menor eslora de la flota. Los resultados obtenidos tras 2 meses de este demostraron

una significativa reducción de los costos de operación y mantenimiento en 20.29%, así como un incremento de la vida útil en 47.33%, pudiendo este resultado ser escalable al total de la flota de embarcaciones del Centro Naval del Perú sede Club Náutico La Punta.

Extendiendo el modelo a 5 años de funcionamiento, el costo del año inicial del mismo es S/ 20,698.00, el cual genera un Valor Actual Neto tras el tiempo transcurrido de S/ 9,083.64, una Tasa Interna de Retorno de 21.42% y un Ratio de Beneficio Costo de 1.44. Ello evidencia la viabilidad económica positiva del proyecto, teniendo en cuenta que se utilizó una Tasa Social de Descuento (de 8%) como Costo de Oportunidad debido a la naturaleza de la gobernanza del proyecto dentro de una organización estatal de derecho privado estudiada.

REFERENCIAS

- [1] A. Novales, "El impacto económico de la náutica de recreo" Universidad Complutense de Madrid. ANEN, 2018. [Online]. Disponible en: https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-36703/FullReportICAE_ANEN.pdf
- [2] F. Miranda, "La absurda hostilidad peruana a la náutica recreativa" ONG Oannes, 2019. [Online]. Disponible en: <http://www.oannes.org.pe/editorial/la-absurda-hostilidad-peruana-a-la-nautica-recreativa/>
- [3] J. Ambrona, "Estudio de viabilidad para la construcción del puerto deportivo bajo la modalidad de partenariado público privado en Lima, Perú" Tesis de maestría, 2016. [Online]. Disponible en: http://oa.upm.es/44395/1/Tesis_master_Juan_Nepomuceno_Ambrona_Medina.pdf
- [4] O. Dinu y A. Ilie, "Maritime vessel obsolescence, life cycle cost and design service life" IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 95, 012067, 2015.
- [5] I. Afify, A. Mohib, A. El-Kamash and M. Mahmoud, "A New Framework of Reliability Centered Maintenance" Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2019. [Online]. Disponible de: <http://jjmie.hu.edu.jo/vol-13-3/88-19-01.pdf>
- [6] A. Thawkar, P. Tambe & V. Deshpande, "A reliability centred maintenance approach for assessing the impact of maintenance for availability improvement of carding machine" International Journal of Process Management and Benchmarking, 8(3), pp. 318-339, 2018.
- [7] J. Reyes, K. Álvarez, A. Martínez & J. Guamán, "Total productive maintenance for the sewing process in footwear" Journal of industrial engineering and management, 11(4), pp. 814-822, 2018.
- [8] R. Sharma, J. Singh and V. Rastogi, "The impact of total productive maintenance on key performance indicators (PQCDSM): a case study of automobile manufacturing sector" Int. J. Productivity and Quality Management, 24(2), pp.267-283, 2018.
- [9] J. Singh, H. Singh & V. Sharma, "Success of TPM concept in a manufacturing unit - a case study" International Journal of Productivity and Performance Management, 67(3), pp. 536- 549, 2018
- [10] L. David, et al, "Software solution design for application of reliability centered maintenance in preventive maintenance plan" Electric power engineering, 18th international scientific conferences on. IEEE, pp. 1-4, 2017.
- [11] T. Singh and I. Ahuja, "Evaluating manufacturing performance through strategic total productive maintenance implementation in a food processing industry" Int. J. Productivity and Quality Management, 21(4), pp.429-442, 2017. Doi: 10.1504/IJPM.2017.085253
- [12] J. Rukijkpanich & P. Pasuk, "Maintenance management for transportation process in quarry industry" Journal of Quality in Maintenance Engineering, 24(2), pp. 185-199, 2018. Doi: 10.1108/JQME-04-2017-0024
- [13] O. Bataineh, T. Al-Hawari, H. Alshraideh & D. Dalalah, "A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study" Journal of Quality in Maintenance Engineering, 25(1), pp. 144-161, 2019. Doi: 10.1108/JQME-07-2017-0045
- [14] M. Braglia, D. Castellano & M. Gallo, "A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work" Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2019. Doi: 10.1108/JQME-05-2016-0018
- [15] H. Raposo, J. Farinha, I. Fonseca & L. Ferreira, "Condition monitoring with prediction based on diesel engine oil analysis: A case study for urban buses" Actuators, 8(1), 2019. Doi: 10.3390/act8010014
- [16] J. Raposo, T. Farinha, L. Ferreira & D. Galar, "Dimensioning reserve bus fleet using life cycle cost models and condition based/predictive maintenance: a case study" Public Transport, 10(1), pp. 169-190, 2018. Doi: 10.1007/s12469-017-0167-x
- [17] F. Dinmohammadi, "A risk-based modelling approach to maintenance optimization of railway rolling stock: A case study of pantograph system" Journal of Quality in Maintenance Engineering, 25 (2), pp. 272-293, 2019. Doi: 10.1108/JQME-11-2016-0070
- [18] D. Wijesingh y H. Mallawarachchi, "A systematic approach for maintenance performance measurement: Apparel industry in Sri Lanka" Journal of Quality in Maintenance Engineering, 25(1), pp. 41-53, 2019. Doi: 10.1108/JQME-03-2017-0022
- [19] S. Okwuobi, F. Ishola, O. Ajayi, E. Salawu, A. Aworinde, O. Olatunji & S. Akinlabi, "A Reliability-Centered Maintenance Study for an Individual Section-Forming Machine" Machines, 6(4), pp. 50-67, 2018. Doi: 10.3390/machines6040050
- [20] F. Fang, Z. Zhao, C. Huang, X. Zhang, H. Wang & Y. Yang, "Application of reliability-centered maintenance in metro door system" IEEE Access, 7, pp. 186167-186174, 2018. Doi: 10.1109/ACCESS.2019.2960521
- [21] M. Salah, H. Osman & O. Hosny, "Performance-Based Reliability-Centered Maintenance Planning for Hospital Facilities" Journal of Performance of Constructed Facilities, 32(1), 04017113, 2018. Doi:10.1061/(asce)cf1943-5509.0001112
- [22] Y.-J. Yang, X.-Y. Zhang, Z.-J. Zhao, G.-H. Wang, Y.-J. He, Y.-L. Wu & J. Li, "Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Sampling Subsystem in Continuous Emission Monitoring System" IEEE Access, 8, pp. 55054-55062, 2020. Doi:10.1109/access.2020.2980630
- [23] J. Morales & R. Silva, "Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line" International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 92(1-4), pp. 1-14, 2017. Doi: 10.1007/s00170-017-0052-4
- [24] A. Acharya, D. Garg, N. Singh & U. Gahlaut, "Plant effectiveness improvement of overall equipment effectiveness using autonomous maintenance training: - A case study" International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 9(1), pp. 103-112, 2018. Doi: 10.24247/ijmperfeb201911
- [25] A. Hooda & P. Gupta, "Manufacturing excellence through total productive maintenance implementation in an indian industry: a case study" International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD), 9(3), pp. 1593-1604, 2019. Recuperado de: <http://www.tjprc.org/publishpapers/2-67-1560334748-168.IJMPERDJUN2019168.pdf>
- [26] E. Abd, R. Abdel, I. Afify & M. Aly, "An Efficient Maintenance Plan Using Proposed Framework of RCM Made Simple Approach" Industrial Engineering & Management Systems, 18(2), pp. 222-233, 2019. DOI: 10.7232/iems.2019.18.2.222
- [27] R. Sharma, "Overall equipment effectiveness measurement of TPM manager model machines in flexible manufacturing environment: A case study of automobile sector" International Journal of Productivity and Quality Management, 26(2), pp. 206-222, 2019. DOI: 10.1504/IJPM.2019.097767
- [28] P. Guariente, I. Antonioli, I. Ferreira, T. Pereira & F. Silva, "Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer" Procedia Manufacturing, 13, pp. 1128-1134, 2017. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.09.174