

Optimization of Asset Management through the Implementation of a Reliability-Centered Maintenance Plan

Rodolfo Falconí Vásquez¹, José Luis Silva Paucar¹

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, rfalconi@uni.edu.pe, jose.silva.p@uni.pe

Abstract— *This study analyzes the implementation of a Reliability-Centered Maintenance (RCM) plan as a strategy to optimize asset management on the Leader 1 extrusion line at Industrias Fibrforte S.A., a company in the plastics sector. Initially, the line exhibited high downtime levels, elevated corrective maintenance costs, and low operational availability as a result of a reactive maintenance approach. The research followed an applied, non-experimental design, integrating tools such as Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), the Analytic Hierarchy Process (AHP), and the BOCR technique for the optimal selection of maintenance strategies. The results show a significant reduction in unplanned downtime, a sustained increase in equipment availability, and a substantial decrease in both direct and indirect maintenance costs. Furthermore, the economic and financial analysis confirms the project's feasibility through positive Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) indicators, validating the effectiveness of RCM as a key tool for improving operational efficiency and supporting decision-making in industrial management.*

Keywords—*Reliability-Centered Maintenance, Asset Management, Failure Modes and Effects Analysis, Equipment Availability, Cost Optimization.*

Optimización de la Gestión de Activos mediante la Implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Rodolfo Falconí Vásquez¹, José Luis Silva Paucar¹

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, rfalconi@uni.edu.pe, jose.silva.p@uni.pe

Resumen—El presente estudio analiza la implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como estrategia para optimizar la gestión de activos en la línea de extrusión Leader 1 de la empresa Industrias Fibrforte S.A., perteneciente al sector plástico. Inicialmente, la línea presentaba elevados tiempos de inactividad, altos costos por mantenimiento correctivo y una baja disponibilidad operativa, consecuencia de un enfoque reactivo. La investigación fue de tipo aplicada y no experimental, integrando herramientas como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE), el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y la técnica BOCR para la selección óptima de estrategias de mantenimiento. Los resultados evidencian una reducción significativa de los paros no programados, un incremento sostenido de la disponibilidad de los equipos y una disminución relevante de los costos directos e indirectos de mantenimiento. Asimismo, el análisis económico-financiero confirma la viabilidad del proyecto mediante indicadores positivos de VAN y TIR, validando la efectividad del RCM como herramienta clave para la mejora de la eficiencia operativa y la toma de decisiones en la gestión industrial.

Palabras clave—Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Gestión de Activos, Análisis (Análisis de Modos y Efectos de Fallas), Disponibilidad de Equipos, Optimización de Costos.

I. INTRODUCCIÓN

La industria del plástico se desenvuelve en un entorno altamente competitivo, caracterizado por una constante presión para disminuir costos y sostener elevados niveles de eficiencia operativa. En este contexto, el mantenimiento de los equipos productivos adquiere un rol estratégico para el cumplimiento de los objetivos organizacionales. No obstante, la dependencia de esquemas tradicionales de mantenimiento correctivo suele generar incrementos en los costos y pérdidas de eficiencia. Industrias Fibrforte S.A., dedicada a la producción de planchas onduladas de plástico, enfrentaba esta problemática en su línea de extrusión Leader 1. Ante esta situación, el presente estudio de caso expone la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), orientado a corregir dichas ineficiencias y mejorar la gestión integral de los activos productivos.

II. ANTECEDENTES

La referencia [1] documenta diversas experiencias de implementación del RCM en distintas organizaciones, resaltando la importancia de que las empresas adopten

estrategias de mantenimiento efectivas y eficientes, entre ellas el mantenimiento centrado en la fiabilidad. Los autores concluyen que una gestión de mantenimiento oportuna y adecuada contribuye significativamente al rendimiento pleno de los equipos, a la productividad y a la calidad, otorgando al RCM una ventaja competitiva al fortalecer la imagen organizacional, la rentabilidad y la satisfacción del cliente.

La referencia [2] identifica los procesos más adecuados en la gestión y conservación de instalaciones industriales bajo el enfoque RCM. Su aplicación permite definir con precisión los elementos de mantenimiento requeridos, así como identificar fallas funcionales y potenciales a lo largo de la curva de desempeño de los equipos, anticipando fallos antes de su ocurrencia. Asimismo, destaca el valor de desarrollar programas RCM integrados con enfoques de mantenimiento moderno (MMC), incorporando tecnologías digitales, análisis de datos, gestión presupuestaria y capacitación del personal.

En la referencia [3] se evidencia que el RCM constituye una alternativa eficiente para la mejora del desempeño industrial. Mediante un análisis integral sustentado en un marco metodológico estructurado, se elaboró un plan de mantenimiento para sistemas industriales, identificándose variables críticas como operatividad, costos y disponibilidad. Se concluye que la identificación continua de fallas y sus causas resulta fundamental para optimizar los mecanismos productivos y alcanzar los niveles de desempeño esperados.

La referencia [4] propone un sistema RCM aplicado a parques eólicos, sustentado en una metodología descriptiva sin manipulación de variables. El estudio resalta la necesidad de considerar las interrelaciones entre las infraestructuras y su entorno para la identificación de riesgos potenciales. Asimismo, justifica la aplicación del RCM como herramienta clave para la gestión de la información y la administración de edificaciones, destacando su rol preventivo frente a problemas de gestión.

Por su parte, la referencia [5] desarrolla un modelo RCM aplicado a máquinas de inyección de plástico, con el objetivo de optimizar la calidad, incrementar la confiabilidad y mejorar la disponibilidad. Los resultados evidencian que la aplicación del RCM permite clasificar los sistemas, identificar defectos recurrentes y reducir la improductividad, fortaleciendo las actividades de inspección y seguimiento de los componentes críticos.

La referencia [6] plantea la aplicación del RCM para mejorar la confiabilidad de los sistemas de transmisión de energía. El estudio demuestra que el análisis detallado de los modos de falla facilita la selección de acciones de mantenimiento más adecuadas, consolidando al RCM como una estrategia esencial para optimizar la confiabilidad en plantas industriales.

La referencia [7] reporta un incremento significativo de la disponibilidad en una línea de producción mediante la implementación del RCM, alcanzando niveles del 91%, así como una mejora de la productividad hasta el 81%. Asimismo, se evidenció la rentabilidad del sistema de gestión de mantenimiento propuesto, con un retorno económico positivo por cada sol invertido.

En la referencia [8] se presenta un estudio orientado a la optimización de la disponibilidad de una flota de bombas de hormigón mediante RCM. Los resultados indican que una gestión de mantenimiento adecuada permite alcanzar altos niveles de disponibilidad y calidad, manteniendo los equipos en condiciones óptimas a bajo costo, destacando la importancia de un enfoque integral que involucre a todo el personal relacionado con los equipos.

La referencia [9] desarrolla un plan de mantenimiento basado en RCM para optimizar la disponibilidad de una caldera, empleando un software especializado que permitió monitorear su funcionamiento real y prevenir paradas no planificadas. El estudio resalta la relevancia de contar con un gestor de proyectos y de medir la disponibilidad a nivel de sistema, área, equipo y subsistema.

Finalmente, la referencia [10] analiza el impacto del RCM en la disponibilidad de equipos críticos en una industria minera. A partir del análisis de modos y efectos de falla (FMEA) en componentes eléctricos, se logró incrementar la disponibilidad y reducir los costos de mantenimiento, mejorando el conocimiento técnico de los activos y la aplicación oportuna de estrategias de conservación.

III. MARCO TEÓRICO

A. Mantenimiento centrado en fiabilidad

El mantenimiento centrado en la fiabilidad se define como un enfoque estratégico destinado a garantizar que los activos y sistemas conserven el nivel de desempeño requerido a lo largo de su vida útil, mediante una gestión integral de las actividades de mantenimiento. En este marco, el equilibrio entre la calidad del servicio y la operatividad se convierte en un factor determinante para ofrecer servicios competitivos en términos de costos totales, tal como se señala en la referencia [7].

El RCM actúa como un instrumento de evaluación de la planificación, ejecución y control de las acciones de mantenimiento, promoviendo un uso eficiente y sostenible de los recursos organizacionales. La aplicación progresiva de mejoras de bajo costo incrementa la disponibilidad de los sistemas productivos y fortalece la competitividad y

confiabilidad operativa, de acuerdo con la referencia [11]. La fiabilidad operativa se apoya en un proceso de mejora continua que integra herramientas analíticas avanzadas [12], ver Fig. 1, y exige transformaciones en la cultura organizacional orientadas a la productividad y al logro de los objetivos estratégicos [13].



Fig.1 Tipos de Confiabilidad Operacional.

Nota. Tomado de [12].

El RCM tiene su origen en la aviación comercial de los Estados Unidos, desarrollado con el respaldo de organismos gubernamentales como la NASA y empresas privadas como Boeing, con el objetivo de asegurar elevados estándares de seguridad y desempeño operativo. Desde 1974, su adopción por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos en instalaciones aéreas militares demostró su eficacia como metodología estructurada de gestión del mantenimiento orientada a la confiabilidad de activos críticos, según la referencia [14]. Posteriormente, su éxito impulsó su aplicación en sectores de alta complejidad y riesgo, como la generación de energía, la industria petrolera, química, del gas, del refinado y la manufactura, donde la confiabilidad operativa resulta esencial para la continuidad productiva [15].

Una de las principales fortalezas del RCM es su capacidad para incorporar avances tecnológicos en los procesos de mantenimiento, contribuyendo a la optimización productiva. La aplicación de técnicas avanzadas bajo este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los riesgos asociados a fallas de los activos, fortaleciendo la seguridad del personal y la protección ambiental, como se indica en las referencias [1] y [4]. En las últimas dos décadas, el desarrollo de técnicas modernas de mantenimiento ha potenciado los enfoques predictivos y preventivos, tal como señala la referencia [16].

El RCM se sustenta en tres dimensiones principales. La primera corresponde al análisis de criticidad, que permite priorizar procesos, sistemas y equipos en función de la frecuencia de fallas y su impacto en la seguridad, la operación, el medio ambiente y los costos. Esta herramienta facilita la asignación eficiente de recursos y la toma de decisiones gerenciales, representándose mediante matrices de criticidad codificadas por colores [6], [12] y [17]. La segunda dimensión

es el Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial (AMEF), técnica predictiva orientada a identificar condiciones de falla antes de su ocurrencia, requiriendo la participación de equipos multidisciplinarios para un análisis integral [12] y [18]. La tercera dimensión corresponde al Número de Prioridad de Riesgo (NPR), obtenido de la relación entre ocurrencia, severidad y detectabilidad de la falla, lo que permite priorizar los modos de falla y focalizar los esfuerzos de mantenimiento en los riesgos más críticos [19].

B. Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento corresponden a costos indirectos vinculados a la conservación, protección y aseguramiento del funcionamiento adecuado de los activos durante todo su ciclo de vida, permitiendo que estos cumplan sus funciones operativas y productivas según lo establecido en la referencia [20]. Una gestión eficiente de estos costos resulta fundamental para mejorar la productividad y garantizar la sostenibilidad financiera de las organizaciones.

Desde el punto de vista de su clasificación, los costos de mantenimiento se dividen en costos directos e indirectos. Los costos directos se generan como consecuencia inmediata de las actividades de mantenimiento e incluyen la mano de obra, los repuestos, los materiales específicos y los gastos generales asociados. Estos, a su vez, se agrupan en costos fijos, relacionados principalmente con el mantenimiento preventivo y predictivo e independientes del nivel de producción; costos variables, vinculados al mantenimiento correctivo y dependientes de la intensidad productiva; y costos administrativos, asociados a la gestión de inventarios de repuestos y a la disponibilidad de equipos de respaldo.

Por otro lado, los costos indirectos se originan como consecuencia de fallas en los equipos e incluyen penalidades contractuales, horas extras, cuellos de botella en la producción y pérdidas de calidad. Dentro de esta categoría se encuentran los costos ocultos, que si bien son difíciles de identificar y cuantificar, afectan de manera significativa la rentabilidad y eficiencia operativa. Estos comprenden tiempos de inactividad no planificados, trabajos de emergencia, consumo energético excesivo, reducción de la calidad del producto, desmotivación del personal, riesgos de seguridad y reemplazo anticipado de activos.

El costo total de mantenimiento se determina mediante la suma de los costos directos e indirectos, expresado de la siguiente manera:

$$CT = (CF + CV + CA) + (CFA + CO).$$

Estos elementos se integran en la matriz de operacionalización, donde se relaciona el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) con la gestión de los costos de mantenimiento, permitiendo un análisis estructurado y estratégico.

C. Método de toma de decisiones AHP

El método Analytic Hierarchy Process (AHP) es una herramienta de decisión multicriterio diseñada para seleccionar

la alternativa más adecuada entre varias opciones, considerando criterios y subcriterios que pueden presentar conflictos entre sí. Este método se basa en la descomposición del problema en una estructura jerárquica que incluye el objetivo general, los criterios, los subcriterios (cuando corresponda) y las alternativas disponibles. Un aspecto clave del AHP es la correcta definición de los criterios, los cuales deben ser claros, relevantes y mutuamente excluyentes para asegurar la consistencia del análisis.

El funcionamiento del AHP se sustenta en la realización de comparaciones pareadas entre criterios y alternativas, utilizando la Escala Fundamental de Saaty, ver tabla 1, que permite transformar juicios cualitativos en valores cuantitativos. A partir de estas comparaciones se construyen matrices que facilitan el cálculo de los pesos relativos de cada criterio y la posterior ponderación de las alternativas, tal como se describe en la referencia [21].

TABLA I

ESCALA FUNDAMENTAL DE COMPARACIÓN POR PARES

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Una de las principales ventajas del AHP es la posibilidad de evaluar la consistencia de los juicios emitidos, lo que contribuye a validar la coherencia interna del proceso de decisión. La combinación de los pesos de los criterios con la valoración de las alternativas genera una ponderación global que permite establecer un ranking final, proporcionando un soporte sólido y estructurado para la toma de decisiones complejas, de acuerdo con la referencia [21].

IV. PROBLEMÁTICA

La línea Leader 1 de Industrias Fibraforte S.A. presentaba elevados niveles de inactividad y altos costos operativos como consecuencia de fallas recurrentes en los equipos, tal como se evidencia en la tabla 2.

TABLA II

INDICADORES DE LA SITUACIÓN ACTUAL

	Año 0
% Horas Paros de maquina antes de RCM	40%
% Disminución de paros correctivos con RCM	0%
% Horas Paros de maquina después del RCM	40%
CÁLCULO DE COSTO DE LA FALLA (CFA)	
Horas de producción (HPP)	368
Horas preventivas al mes (HMP)	64
Horas de paro por correctivos (HP) al mes:	288
Horas totales del mes (HTP)	720
Utilidad perdida por hora equipo parado (UPHP) (\$)	93.75
TOTAL MENSUAL COSTOS DE FALLAS (CFA): (UPHP X HP) (\$)	27000
EFICIENCIA HORAS	
% Disponibilidad de la maquina (HPP/(HTP-HMP))	56.10%
%Horas de paro de maquina (HP/HTP)	40.00%
Produccion perdida al mes (TON)	180

El análisis del estado del mantenimiento, mostrado en la tabla 3, evidencia que los costos mensuales asociados al mantenimiento presentaban una alta proporción de costos indirectos, principalmente derivados de pérdidas de producción y costos ocultos, los cuales representaban aproximadamente el 80% del costo total.

TABLA III
RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO ANTES DEL RCM (soles)

PRESUPUESTO MENSUAL PARA LEADER 1 (PRP)	6,750.00
<u>COSTOS DIRECTOS (CD)</u>	
Costo fijo (CF): Preventivos, proactivos	1,227.27
Costo variable (CV): Paros correctivos	5,522.73
TOTAL COSTOS DIRECTOS	6,750.00
<u>COSTOS INDIRECTOS (CI)</u>	
Costo de fallas (CFA): (Pérdida de utilidades por ventas)	27,000.00
Costos ocultos (CO): (5% CV)	276.14
TOTAL COSTO INDIRECTOS	27,276.14
COSTO MENSUAL POR MANTENIMIENTO (CD+CI)	34,026.14

V. OBJETIVOS

- Diseñar un plan de gestión de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) acorde a las condiciones operativas de la línea Leader 1 de Industrias Fibrforte S.A.
- Analizar la viabilidad económica de la implementación del RCM mediante el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) en un horizonte de evaluación de cinco años.
- Verificar las mejoras obtenidas en los costos directos e indirectos de mantenimiento, así como en la eficiencia operativa de la línea Leader 1, como resultado del diseño del plan RCM.
- Proponer mejoras complementarias orientadas a fortalecer la confiabilidad humana, apoyadas en la mejora continua y en la integración del método de decisión multicriterio AHP al enfoque RCM.

VI. METODOLOGÍA

Con el propósito de incrementar la eficiencia del mantenimiento, se aplicó una metodología integral que combinó diversas técnicas. En primer lugar, se realizó la determinación de la situación actual de los costos de mantenimiento mediante encuestas dirigidas al personal operativo de planta, con el fin de obtener información representativa del estado inicial.

Posteriormente, se aplicó la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), orientada a la identificación de equipos críticos, definición de sus funciones, determinación de los modos de falla potenciales y selección de las estrategias de mantenimiento más adecuadas.

Asimismo, se desarrolló un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE), ver tabla 6, para los equipos críticos, identificando los modos de falla potenciales, sus causas,

efectos y niveles de severidad. Complementariamente, se utilizó el método Analytic Hierarchy Process (AHP) como herramienta de apoyo para la toma de decisiones multicriterio en la selección de estrategias de mantenimiento.

Los resultados de las encuestas aplicadas al personal de mantenimiento se resumen en las tablas 4 y 5, donde se analizan diversos aspectos operativos que influyen en los costos fijos y variables antes de la implementación del RCM.

TABLA IV
RESUMEN DE TABLAS DE ENCUESTAS DE COSTOS FIJOS Y SUS RESULTADOS

		ESCALA					RESULTADOS COSTOS FIJOS		
		Nunca	Casi nunca	A veces	Casi siempre	Siempre	PROMEDIO	ESCALA DOMINANTE	CONCLUSION DEL ESTADO DEL COSTO
Costos fijos		1	2	3	4	5			
1	Existen desviaciones en el costo asociado a adquisición de materias primas de acuerdo al nivel de producción.	13	11	6			1.8	CASI NUNCA	ESTABLE
2	Existen desviaciones en el costo asociado al pago de trabajadores de mantenimiento de acuerdo al nivel de producción.	4	15	11			2.2	CASI NUNCA	ESTABLE
3	Existen desviaciones en el costo asociado al pago de servicios externos de acuerdo al nivel de producción.			16	2	12	3.9	CASI SIEMPRE	VARIABLE
4	Existen desviaciones en el costo de instalación de componentes y sistemas especiales en el área de producción.			8	7	15	4.2	CASI SIEMPRE	VARIABLE
5	El registro de los costos fijos es una herramienta que posee el departamento de mantenimiento.	14	10	6			1.7	CASI NUNCA	VARIABLE
6	Se prevén las necesidades de mantenimiento previo a la ocurrencia de una avería.	14	8	8			1.8	CASI NUNCA	VARIABLE

TABLA V
RESUMEN DE TABLAS DE ENCUESTAS DE COSTOS
VARIABLES Y SUS RESULTADOS

		Nunca	Casi nunca	A veces	Casi siempre	Siempre	RESULTADOS		
Costos variables		1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESCALA DOMINANTE	CONCLUSIO DEL ESTADO DEL COSTO
7	Se incurre habitualmente en costos adicionales de HH por incremento en la demanda de producción.			9	6	15	4.2	CASI SIEMPRE	VARIABLE
8	Se incurre habitualmente en la adquisición de repuestos fungibles por ocasión de mantenimientos correctivos.		6	5	11	8	3.7	CASI SIEMPRE	VARIABLE
9	Se cuenta con la codificación de máquinas dentro de un sistema de inventarios.	30					1.0	NUNCA	VARIABLE
10	El centro de costo de mantenimiento permite interrelacionar los costos correctivos, preventivos y por sistemas.			15	12	3	3.6	CASI SIEMPRE	ESTABLE
11	Se presenta un balance valorizado de las existencias de insumos y herramientas.	23	7				1.2	NUNCA	VARIABLE
12	El proceso de programación, cierre y cambio de órdenes se realiza de forma automatizada.	30					1.0	NUNCA	VARIABLE

Se desarrollaron los modelos AS-IS y TO-BE, representados en las Fig. 2 y 3, con el objetivo de describir el estado actual y el estado deseado del sistema de mantenimiento.

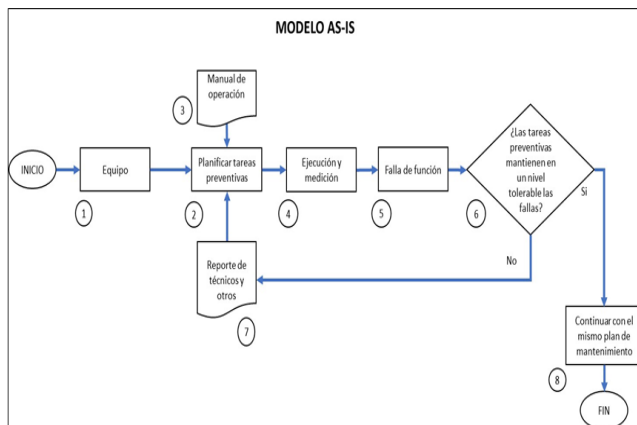


Fig. 2. Modelo AS-IS de la situación actual de la planificación del mantenimiento.

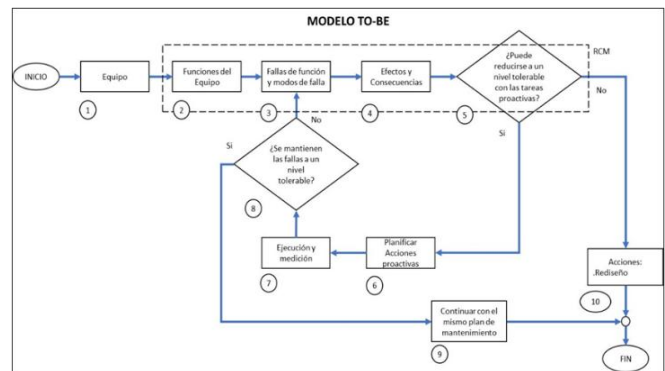


Fig. 3 Modelo TO-BE de la situación deseada para la planificación del mantenimiento.

El Diagrama de Decisión RCM, Fig. 4, permitió orientar la selección de las acciones de mantenimiento más efectivas para cada modo de falla identificado.

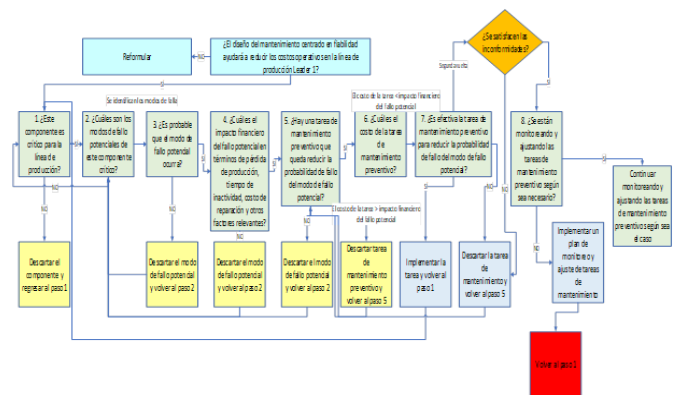


Fig. 4 Diagrama de decisiones RCM

La Fig. 5 muestra el modelo TO-BE optimizado mediante la integración del método AHP con la técnica BOCR, empleando matrices comparativas por criterio y el método SBT para obtener el ranking final de estrategias de mantenimiento.

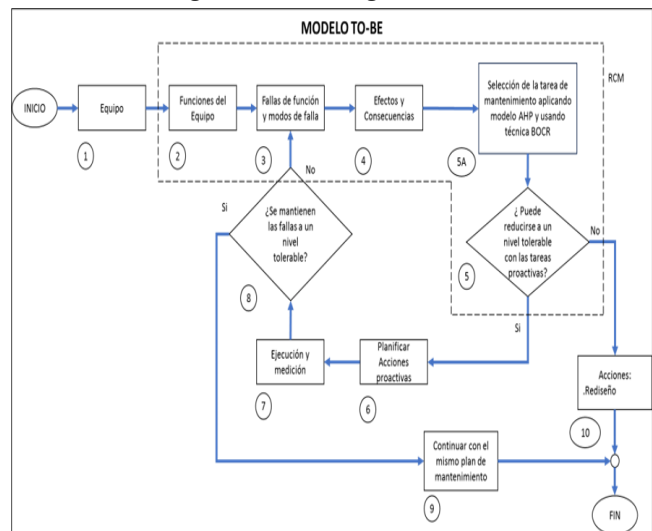


Fig. 5 Modelo TO-BE con la mejora en la metodología del RCM aplicando el método de decisión AHP

TABLA VI
MATRIZ DE SISTEMA AMFE EN LOS EQUIPOS

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	COD	MODO DE FALLA	CAUSAS DE LA FALLA	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE	G	F	D	I	
STEMA DE «TRUSIÓN	Rompimient o de fusible mecánico	AM 001	Fusible mecánico	Mal funcionam iento del equipo	Capacitación	Técnico de mtto.	5	4	3		
			Mala operación	Combinar experiencia profesional	Técnico de mtto	4	5	4			
			Presión excesiva de aceite	Capacitación del funcionamiento del Motor	Técnico de mtto.	6	6	2			
			Pérdida de potencia del motor	Fugas y sellos	Capacitación del funcionamiento delMotor	Técnico de mtto	7	6	2		
				Mal mantenimi ento	Inspecciones diarias.	Técnico de mtto.	7	3	4		
ISTEMA DE ORTADO	Dosificador de óxido	AM 002	Medidor de combusti ble	Sensor de presión de combusti ble defectuoso	Capacitación del funcionamiento del Sistema de Combustible	Técnico de mtto	7	5	2		
			Deja de caer óxido	Mala Operación	Combinar experiencia profesional y capacitar al operador	Técnico de mtto.	5	4	2		
			Mermado por arranque y estabilizac ión								
			Reducción de la potenci a del equipo	Válvula regulador a de la presión de Combusti ble	Capacitación del funcionamiento del Sistema de Combustible	Técnico de mtto	6	6	2		
				Filtros obstruidos, filtros de combusti ble sucio y obstruidos	Capacitación del funcionamiento del Sistema de Combustible	Técnico de mtto.	5	8	2		
				Mal mantenimi ento	Inspecciones diarias.	Técnico de mtto	4	6	3		
STEMA DE AMINADO	Falla en el CTR Cilindro central	AM 003	Pérdida de potencia del cilindro Recalentam iento de CTR	Bloqueo salida	Capacitación del funcionamiento de la bomba	Técnico de mtto.	6	5	2		
				Válvula check inoperativa	Capacitación del funcionamiento de la bomba	Técnico de mtto	6	5	3		
					Capacitación del funcionamiento de la bomba	Técnico de mtto.	5	5	3		
			Quemado de resistenci a de central	Mala Operación	Combinar experiencia profesional y capacitar al operador	Técnico de mtto	5	6	2		
			No hay agua en								

Se usó el AHP para la selección de la estrategia de mantenimiento óptima, y la técnica BOCR, que se integró con el AHP para evaluar las diferentes estrategias de mantenimiento. La tabla 7 se muestran las ponderaciones de la matriz comparativa de los criterios.

TABLA VII
MATRIZ COMPARATIVA DE CRITERIOS

	BENEFICIO	OPORTUNIDAD	COSTOS	RIESGO	MATRIZ NORMALIZADA CON RESPECTO A TOTAL				VECTOR PROMEDIO
BENEFICIO	1	7	5	3	0.6	0.44	0.54	0.66	0.56
OPORTUNIDAD	0.14	1	0.33	0.2	0.09	0.06	0.04	0.04	0.06
COSTOS	0.2	3	1	0.33	0.12	0.19	0.11	0.07	0.12
RIESGO	0.33	5	3	1	0.2	0.31	0.32	0.22	0.26
TOTAL	1.68	16	9.33	4.53					

Con los datos de la tabla 7 se aplicaron a las estrategias para atender el modo de falla -Motor se quema por sobrecarga- del ejemplo realizado para la Bomba de vacío de sistema de extrusión, la mejor tarea sería, el trabajo a condición (0.272) y, en segundo lugar, la búsqueda de la falla (0.138), esto ayuda al grupo de expertos del RCM a tomar la decisión sobre la tarea a planificar, complementando este resultado con el diagrama de decisión, o aplicando directamente este resultado, que se aprecian en la tabla 8.

TABLA VIII
MATRIZ DE RESULTADOS DEL MÉTODO AHP PARA OBTENER LA MEJOR ESTRATEGIA PARA ATENDER EL MODO DE FALLA

	0.56	0.06	0.12	0.26	RESULTADOS BAJO SINTESIS SBT
	BENEFICIOS	OPORTUNIDADES	COSTOS	RIESGOS	
TRABAJO A CONDICION	0.47	0.52	0.04	0.05	0.272
REACONDICIONAMIENTO CICLICO	0.15	0.25	0.12	0.26	0.016
SUSTITUCION	0.07	0.12	0.25	0.12	-0.013
BUSQUEDA DE FALLAS	0.27	0.07	0.07	0.03	0.138
REDISEÑO	0.04	0.04	0.52	0.54	-0.183

VII. ANÁLISIS DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN Y RETORNO DE LA INVERSIÓN

El costo total de implementación del RCM estuvo conformado por los costos de repuestos y de mano de obra, detallados en las tablas 9 y 10.

TABLA IX
COSTO TOTAL DE LOS REPUESTOS DE LOS EQUIPOS PARA LA LÍNEA LEADER 1

Equipo	Repuesto	Cantidad	Precio (USD.)	Costos total (USD)
Extrusor	Fusibles mecánicos	220	3	660
	Caja de engranaje	2	420	840
	Arranque	2	160	320
	Motor del extrusor	3	44	132
	Cabezal	6	36	216
Lamidor	Chabeta de motor	5	80	400
	Acople	10	16	160
	Alarma variador	10	24	240
	Motor del cilindro	100	0.5	50
CTR Central	Regulador de temperature	30	20	600
	Globos	40	4	160
	Arranque	2	60	120
	Filtro	4	28	112
	Reele térmico	4	32	128
	Bomba	5	32	160
Cizalla	Rodamientos	20	12	240
	Manguera hidraulica	500	0.5	250
	Estabilizador	200	4	800
	Chiller cuchillas sin filo	6	140	840
Molino de bordes	Cuchillas	6	40	240
	Arranque	4	120	480
	Bujías	10	36	360
	Kit de accesorios	12	20	240
Sistema de vacío	Motor de bomba	6	72	432
	Detector de humo	8	120	960
	Kit de accesorios	12	20	240
	Motor de alimentación	10	60	600
Dosificador	Arranque	4	100	400
	Acete (galón)	50	2	100
	Total (USD)			10.450

TABLA X
INVERSIÓN EN MANO DE OBRA PARA LA LÍNEA LEADER 1 DE INDUSTRIAS FIBRAFORTE S.A.

Recurso	Actividades	Costo unitario (USD)	Tiempo requerido en la implementación y evaluación de mejora	Costo total (USD)
Técnico de mantenimiento	Capacitación	20.00	40	800.00
Técnico especializado	Capacitación	10.00	40	400.00
Operadores	Capacitación	10.50	40	420.00
Material de apoyo	Capacitación	-	-	100.00
Coffe break	Capacitación	-	-	180.00
Insumos	Recursos	-	-	200.00
Salario anual d	Recursos			
Técnico mecánico		12.00	80	960.00
Operarios (2)		5.00	48	240.00
			Total (USD)	3,300.00

Se propuso un esquema de financiamiento mixto, compuesto por recursos propios (40%) y financiamiento bancario (60%), ver tablas 11 y 12.

TABLA XI
INVERSIÓN TOTAL EN EL RCM EN EL AÑO 0.

INVERSION EN RCM	COSTO (\$)
Costo total de los repuestos de los equipos	\$ 10,450.00
Inversión en mano de obra	\$ 3,300.00
TOTAL DE COSTO	\$ 13,750.00

TABLA XII
FUENTES DE FINANCIAMIENTO PARA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

FUENTES DE FINANCIAMIENTO	INVERSION US\$	%
RECURSOS PROPIOS	5,500.00	40%
PRÉSTAMOS	8,250.00	60%
TOTAL	13,750.00	

La amortización anual del préstamo se presenta en la tabla 13, mientras que el cálculo del VAN se realizó empleando una tasa de descuento del 13.74%, determinada a partir del ROE y el costo del financiamiento, ver tabla 14.

TABLA XIII
INVERSIÓN Y AMORTIZACIÓN POR AÑO PARA IMPLEMENTAR EL RCM.

TASAS DE INTERÉS ACTIVAS DE MERCADO

Ingrese fecha: 05/11/2023 (dd/mm/aaaa) Consultar Exportar

Tasa de Interés Activa Promedio de Mercado Efectiva al 05/11/2023

Moneda Nacional(TAMN)	15.98%	Anual	Factor Diario	0.00041
			"Factor Acumulado"	7.881.77111
Moneda Nacional(TAMN + 1)	16.98%	Anual	Factor Diario	0.00044
			"Factor Acumulado"	15.311.84775
Moneda Nacional(TAMN + 2)	17.98%	Anual	Factor Diario	0.00046
			"Factor Acumulado"	29.570.19411
Moneda Extranjera(TAMEX)	11.03%	Anual	Factor Diario	0.00029
			"Factor Acumulado"	31.93222

Tasa de Interés Promedio de las Operaciones Realizadas en los últimos 30 Días Útiles al 05/11/2023

No existe información para la fecha elegida

Pagos del Préstamo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Crédito	- 8,250.00					
Interés		1,150.77	959.00	736.58	478.61	179.42
Amortización		1,200.10	1,391.88	1,614.30	1,872.27	2,171.45
Flujos netos	-8,250.00	2,350.88	2,350.88	2,350.88	2,350.88	2,350.88

TABLA XIV
CÁLCULO DE LA TASA DE DESCUENTO PARA EL VAN

FUENTES DE FINANCIAMIENTO	INVERSIÓN	PORCENTAJE	TASA DE LA FUENTE
RECURSOS PROPIOS	5,500.00	40%	10.38%
PRÉSTAMOS	8,250.00	60%	15.98%
TOTAL	13,750.00	TASA VAN	13.74%

VIII. RESULTADOS

La implementación del plan RCM generó resultados

relevantes. El análisis económico-financiero, presentado en las tablas 15 y 16, evidenció un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) favorable.

TABLA XV
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO. CÁLCULO DEL VAN Y TIR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.

Año	0	1	2	3	4	5
% Horas Paros de maquina antes de RCM	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Aumento de la disponibilidad de maquina con RCM	0%	5%	10%	15%	20%	25%
% Horas Paros de maquina después del RCM	40%	35%	30%	25%	20%	15%
Costo CV Antes RCM (\$ al mes)	5,522.73	5,522.73	5,522.73	5,522.73	5,522.73	5,522.73
Costo CV Después RCM (\$ al mes)	5,522.73	5,382.91	5,207.14	4,979.51	4,673.08	4,238.37
AHORRO EN CV POR RCM (\$ AL MES)	0.00	139.82	315.58	543.22	849.65	1,284.36
AHORRO EN CV POR RCM (\$ AL AÑO)	0.00	1,677.79	3,787.01	6,518.63	10,195.80	15,412.26
INVERSIÓN EN RCM (\$ AL AÑO)	13,750.00					
(AHORRO CV - INVERSIÓN) (\$ AL AÑO)	-13,750.00	1,677.79	3,787.01	6,518.63	10,195.80	15,412.26
Tasa de impuestos	30%					
Evaluación Económica						
Flujo Neto (dsto x impuestos) US\$	-13,750.00	1,174.45	2,650.91	4,563.04	7,137.06	10,788.58
TIRE	18.75%					
VANE	2,364.09	US\$				

TABLA XVI
EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN EN INDUSTRIAS FIBRAFORTE.

Pagos del Préstamo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión, crédito	-8,250.00					
Gastos Financieros, interés		-1,150.77	-959.00	-736.58	-478.61	-179.42
Amortización		-1,200.10	-1,391.88	-1,614.30	-1,872.27	-2,171.45
Flujos Netos	-8,250.00	2,350.88	2,350.88	2,350.88	2,350.88	2,350.88
Tasa de impuestos	30%					
Evaluación Financiera	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo Neto	5,500.00	1,677.79	3,787.01	6,518.63	10,195.80	15,412.26
Gastos Financieros, interés		1,150.77	959.00	736.58	478.61	179.42
Flujo Neto 1	5,500.00	527.02	2,828.01	5,782.05	9,717.19	15,232.84
Flujo Neto 2 ajustado por impuestos	5,500.00	368.91	1,979.61	4,047.44	6,802.04	10,662.99
Amortización del Préstamo		1,200.10	1,391.88	1,614.30	1,872.27	2,171.45
Flujo Neto 3	5,500.00	831.19	587.73	2,433.14	4,929.77	8,491.53
TIRF	26.29%					
VANF	2,550.84	US\$				

Asimismo, se observó un incremento en la eficiencia operativa, reflejado en una mayor disponibilidad de los equipos y una reducción significativa de las horas de inactividad no planificada.

IX. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para validar la hipótesis planteada, se realizó una prueba piloto de 30 días en una bomba de vacío, considerada un equipo crítico de la línea de extrusión, cuyos resultados se muestran en las tablas 17 y 18.

TABLA XVII
HORAS DE PARO POR CORRECTIVO ANTES Y DESPUÉS DEL RCM EN BOMBA VACÍO

	ANTES RCM	VALOR DESEADO DESPUES RCM
HORAS TOTALES AL DÍA	24	24
HORAS DE PARO (%)	40%	35%
HORAS DE PARO (HORAS)	9.6	8.4
HORAS PARA PRODUCIR	14.4	15.6

TABLA XVIII
HORAS DE PARO DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN RCM EN LA BOMBA VACÍO

DIA	HORAS	DIA	HORAS
1	14.97	16	13.88
2	12.41	17	17.41
3	17.71	18	20.00
4	22.23	19	13.30
5	18.53	20	21.50
6	13.28	21	8.01
7	19.05	22	12.18
8	17.53	23	18.05
9	17.75	24	17.47
10	11.40	25	14.56
11	15.29	26	13.30
12	15.41	27	17.47
13	17.15	28	15.82
14	16.22	29	15.59
15	20.45	30	13.20

El procedimiento estadístico, representado en las Fig. 6 y 7, se desarrolló con un nivel de significancia del 3%, confirmando una reducción del tiempo de inactividad superior al valor objetivo establecido.

Paso 1: Formulación de la hipótesis nula y alternativa:

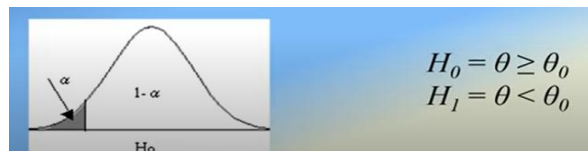


Fig. 6 Diagrama de Gauss para prueba de hipótesis

Hipótesis nula: $H_0 \rightarrow \mu \geq 15.6$

Hipótesis alternativa: $H_1 \rightarrow \mu < 15.6$

Paso 2: Especificar el nivel de significación:

$$\alpha = 0.03$$

Paso 3: Obtención de datos y determinación de estadístico:

$$\text{Media muestral} = \bar{X} = 16.04$$

$$\text{Desviación estándar muestra} = S = 3.17$$

$$\text{Tamaño de la muestra} = n = 30$$

$$\text{Nivel de significación} = \alpha = 0.03$$

$$\text{Media poblacional} = \mu = 15.6$$

Debido a que la muestra es mayor o igual a 30 se puede hacer la siguiente aproximación:

$$\text{Desviación estándar poblacional} = S = \sigma = 3.17$$

Con los datos obtenidos se puede calcular el valor Z:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Paso 4: Establecer los valores críticos que limitan la zona de rechazo y no rechazo:

Según las tablas de distribución normal Z, un valor de significación de 0.03 corresponde a un valor de Z de -1.88. Esto implica que nuestra hipótesis quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Si } Z \geq -1.88, \text{ Acepto } H_0$$

$$\text{Si } Z < -1.88, \text{ Rechazo } H_0$$

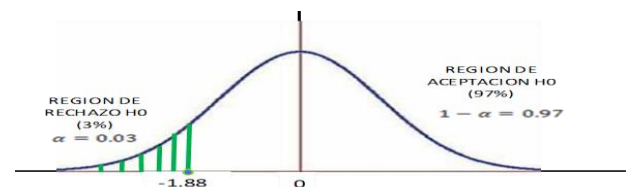


Fig. 7 Diagrama de probabilidad con la zona de rechazo y aceptación

Paso 5: Cálculo del valor del estadístico Z y determinar si ha caído dentro de la región de rechazo o región de no rechazo:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Reemplazando los valores obtenidos en el paso 3, se obtiene lo siguiente:

$$Z = \frac{16.04 - 15.6}{\frac{3.17}{\sqrt{30}}} = 0.7602$$

Se obtiene que Z tiene el valor de 0.7602 y que se encuentra dentro la zona de aceptación.

Paso 6: Resultado de la prueba estadística en términos del problema.

Se acepta con una significación del 3% que las horas de disponibilidad diarias superan un promedio de 15.6 horas. Esto a su vez implica que las horas paro correctivo disminuyen igual o más de 5%.

X. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados cuantitativos y cualitativos, reflejados en las tablas 18, 19 y 20, evidencia el impacto positivo de la implementación del RCM en la línea Leader 1. Se observa una reducción significativa del costo total de

mantenimiento, así como una mejora considerable en la disponibilidad de los equipos. Asimismo, se identifican ahorros relevantes en los gastos de mantenimiento, confirmando el cumplimiento de los objetivos planteados.

TABLA XVIII
COMPARATIVO DE LA SITUACIÓN ACTUAL VS LA SITUACIÓN DESPUÉS DE 5 AÑOS DE IMPLEMENTAR RCM (soles)

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
PRESUPUESTO MENSUAL PARA LEADER 1 (PRP)	6,750.00	6,750.00	6,750.00	6,750.00	6,750.00	6,750.00
COSTOS DIRECTOS (CD)						
Costo fijo (CF): Preventivos, proactivos	1,227.27	1,367.09	1,542.86	1,770.49	2,076.92	2,511.63
Costo variable (CV): Paros correctivos	5,522.73	5,382.91	5,207.14	4,979.51	4,673.08	4,238.37
TOTAL COSTOS DIRECTOS	6,750.00	6,750.00	6,750.00	6,750.00	6,750.00	6,750.00
COSTOS INDIRECTOS (CI)						
Costo de fallas (CFA): (Pérdida de utilidades por ventas)	27,000.00	23,625.00	20,250.00	16,875.00	13,500.00	10,125.00
Costos ocultos (CO): (5% CV)	276.14	269.15	260.36	248.98	233.65	211.92
TOTAL COSTO INDIRECTOS	27,276.14	23,894.15	20,510.36	17,123.98	13,733.65	10,336.92
COSTO MENSUAL POR MANTENIMIENTO (CD+CI)	34,026.14	30,644.15	27,260.36	23,873.98	20,483.65	17,086.92
COSTO ANUAL POR MANTENIMIENTO (CD+CI)	408,313.64	367,729.75	327,124.29	286,487.70	245,803.85	205,043.02

TABLA XIX
COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS ANTES Y DESPUÉS DEL RCM

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
% Horas Paros de maquina antes de RCM	40%	40%	40%	40%	40%	40%
% Disminución de paros correctivos con RCM	0%	5%	10%	15%	20%	25%
% Horas Paros de maquina después del RCM	40%	35%	30%	25%	20%	15%
CALCULO DE COSTO DE LA FALLA (CFA)						
Horas de producción (HPP)	368	404	440	476	512	548
Horas preventivas al mes (HMP)	64	64	64	64	64	64
Horas de paro por correctivos (HP) al mes:	288	252	216	180	144	108
Horas totales del mes (HTP)	720	720	720	720	720	720
Utilidad perdida por hora equipo parado (UPHP) (\$)	93.75	93.75	93.75	93.75	93.75	93.75
TOTAL MENSUAL COSTOS DE FALLAS (CFA): (UPHP X HP) (\$)	27000	23625	20250	16875	13500	10125
EFICIENCIA HORAS						
% Disponibilidad de la maquina (HPP/(HTP-HMP))	56.10%	61.60%	67.10%	72.60%	78.00%	83.50%
% Horas de paro de maquina (HP/HTP)	40.00%	35.00%	30.00%	25.00%	20.00%	15.00%
Producción perdida al mes (TON)	180.00	157.50	135.00	112.50	90.00	67.50

TABLA XX
COMPARACIÓN DE AHORROS DE GASTOS DE MANTENIMIENTO CV CON AHORROS TOTALES (CD+CI) DE LA EMPRESA.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
% Horas Paros de maquina antes de RCM	40%	40%	40%	40%	40%	40%
% Disminución de paros correctivos con RCM	0%	5%	10%	15%	20%	25%
% Horas Paros de maquina después del RCM	40%	35%	30%	25%	20%	15%
Costo CV Antes RCM (\$) al mes	5,522.73	5,522.73	5,522.73	5,522.73	5,522.73	5,522.73
Costo CV Después RCM (\$) al mes	5,522.73	5,382.91	5,207.14	4,979.51	4,673.08	4,238.37
AHORRO EN CV POR RCM (\$) AL MES	0	139.82	315.58	543.22	849.65	1,284.36
AHORRO EN CV POR RCM (\$) AL AÑO	0	1,677.79	3,787.01	6,518.63	10,195.80	15,412.26
COSTO TOTAL POR MANTTO ANTES RCM (\$) AL AÑO	\$ 408,313.60	408,313.60	408,313.60	408,313.60	408,313.60	408,313.60
COSTO TOTAL POR MANTTO DESPUES RCM (\$) AL AÑO	\$ 408,313.60	367,729.70	327,124.30	286,487.70	245,803.80	205,043.00
AHORRO REAL EN COSTO MANTTO (\$) AL AÑO	\$ -	40,583.90	81,189.40	121,825.90	162,509.80	203,270.60

XI. CONCLUSIONES

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la línea Leader 1 de Industrias Fibrforte S.A. permitió reducir de manera significativa los

costos asociados al mantenimiento correctivo, mejorar la eficiencia productiva y fortalecer la confiabilidad humana mediante procesos de capacitación y mejora continua.

El análisis inicial de los costos operativos facilitó la identificación de áreas críticas de mejora, constituyendo una base sólida para optimizar la gestión del mantenimiento y de los activos productivos.

La evaluación económica del RCM demostró su viabilidad financiera, reflejada en un Valor Presente Neto positivo y una Tasa Interna de Retorno favorable, confirmando que los beneficios del proyecto superan los costos de implementación desde el primer año.

La prueba de hipótesis evidenció que es posible reducir los tiempos de paro correctivo en al menos un 5%, alcanzando una disponibilidad diaria igual o superior a 15.6 horas con un nivel de significancia del 3%.

XII. RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener la aplicación continua del plan RCM, realizando evaluaciones periódicas que aseguren su mejora y sostenibilidad a largo plazo. Asimismo, es conveniente fortalecer el registro y análisis de los costos operativos por correctivos, con el fin de identificar oportunidades adicionales de optimización.

Se sugiere reforzar la capacitación y la comunicación organizacional para garantizar la correcta aplicación del RCM, así como realizar auditorías internas anuales que permitan evaluar el retorno de la inversión y la sostenibilidad de las mejoras obtenidas.

Ampliar el alcance de investigaciones posteriores hacia otras líneas de producción y equipos auxiliares de la empresa, con el propósito de lograr una evaluación integral del desempeño global del sistema productivo.

Evaluar la factibilidad de implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en otros procesos del sector plástico, tales como termoformado, rotomoldeo e inyección, así como en distintos sectores industriales, entre ellos metalmecánica, agroindustria, hidrocarburos y automotriz.

Profundizar en la aplicación del método AHP incorporando criterios BOCR más amplios y ajustados a las prioridades estratégicas de cada organización, tanto en la gestión del mantenimiento como en otros ámbitos de la toma de decisiones.

Promover nuevas líneas de investigación orientadas a la integración del RCM con el mantenimiento productivo total (TPM), al incremento de la disponibilidad operativa, al uso del AHP como herramienta de apoyo a decisiones complejas y al análisis comparativo de la viabilidad económica del RCM frente a otras estrategias proactivas de mantenimiento.

XIII. PROPUESTAS DE MEJORAS

Se propone incorporar herramientas de lógica difusa en la planificación del mantenimiento basado en la condición de los equipos, con el objetivo de optimizar la toma de decisiones.

Asimismo, se recomienda implementar un software especializado en RCM que facilite el procesamiento de la información y mejore la eficiencia del análisis.

Finalmente, se sugiere fortalecer el proceso de toma de decisiones del equipo de expertos mediante la aplicación sistemática de metodologías multicriterio como el AHP, ampliando su uso tanto en el mantenimiento como en otros procesos estratégicos de la organización.

REFERENCIAS

- [1] A. Chopra, "Applications and barriers of reliability centered maintenance (RCM) in various industries: a review," *Industrial engineering journal*, vol.14(1), pp. 15-24. 2021.
- [2] K. Priyanka, Reliability centered maintenance methodology to manage facilities [Tesis doctoral]. Pratt Institute, New York, Estados Unidos. 2021.
- [3] E. Elhalim, R. Abdel, I. Afefy, and M. Aly, "An Efficient Maintenance Plan Using Proposed Framework of RCM Made Simple Approach," *Industrial Engineering & Management Systems*, vol.18(2), pp.12 2019. doi:10.7232/iems.2019.18.2.222
- [4] Y. Ren, Z. Ma, and X. Song, "A system framework for RCM-based facility maintenance management in a park area," *Proceedings of the Creative Construction Conference*, pp.979-986, 2018. doi:10.3311/CCC2018-127
- [5] D. Hernández, and J. Sánchez, Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para la empresa Joliplas. Caso de estudio (Máquina inyectora de plástico). Tesis de posgrado, Universidad ECCI. 2018.
- [6] L. Santana, Plan de mantenimiento basado en RCM para mejorar la confiabilidad de la red de transmisión eléctrica de alta tensión, caso: Southern Perú Copper Corporation-SPCC. Tesis de posgrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. 2022.
- [7] H. Arévalo, Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad en la línea de producción de fideos de la empresa PeruPast S.R.L. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo. 2021.
- [8] C. Gutiérrez, Plan de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de bombas conceteras putzmeiser. Caso: concretos Supermix S.A. Tesis de posgrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. 2019.
- [9] E. Castañeda, Plan de mantenimiento basado en RCM para caldero de 50 BHP, caso: hospital ciudad del Cusco. Tesis de posgrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa. 2019.
- [10] E. Acuña, and R. Vargas, Mantenimiento basado en confiabilidad y su influencia en la disponibilidad de los equipos de una planta concentradora. Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Callao, Callao. 2019.
- [11] C. Elisa, Plan de mantenimiento basado en RCM para caldero de 50 BHP, caso: hospital ciudad del Cusco. Tesis de posgrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa. 2019.
- [12] L. Benites, and V. Minaya, Sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad para aumentar la capacidad de producción en la red de oxígeno de una empresa industrial. Tesis de posgrado, Universidad César Vallejo, Trujillo. 2021.
- [13] M. Alrifay, T. A. Hong, As'arry, E. Supeni, and C. Ang, "Optimization and Selection of Maintenance Policies in an Electrical Gas Turbine Generator Based on the Hybrid Reliability-Centered Maintenance (RCM) Model," *Processes*, vol. 88(670), pp. 32, June 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/pr8060670>
- [14] S. Okwuobi, F. Ishola, O. Ajayi, A. Aworinde, O. Olatunji, and S. A. Akinlabi, "Reliability-Centered Maintenance Study for an Individual Section-Forming Machine," *Machines*, vol. 6(4) pp.17, October 2018. doi:10.3390/machines6040050
- [15] Z. Sajaradj, L. Huda, and S. Sinulingga, "The Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing (Journal Review)," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505, pp.5, March 2019. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/505/1/012058/meta>
- [16] P., Afzali, F., Keynia, and M. Rashidinejad, "A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders," *Energy*, vol.175, pp.701-709, March 2019. doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.040
- [17] M. Catelani, L. Ciani, D. Galar, and G. Patrizi, "Optimizing Maintenance Policies for a Yaw System Using Reliability-Centered Maintenance and Data-Driven Condition Monitoring," *IEEE Xplore*, vol.69(n9), pp. 6241-6249, January 2020. doi:10.1109/TIM.2020.2968160
- [18] Ó. Martínez, Propuesta de un modelo de mantenimiento mediante herramientas de la metodología RCM para impresora flexo folder gluer. Tesis de posgrado, Universidad ECCI, Bogotá. 2020.
- [19] N. Rodríguez, M. Marin, and R Domingo, "Assisted-Driven Design of Customized Maintenance Plans for Industrial Plants," *Applied Sciences*, vol.12(n14), pp.19, July 2022. doi:10.3390/app12147144
- [20] J. Geisbush, and S. Ariaratnam, Reliability centered maintenance (RCM): literature review of current industry state of practice. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 19 (n2). Pp. 313-337. June 2022. doi:10.1108/JQME-02-2021-0018
- [21] J. L. Zanazzi, "Anomalías y Supervivencia en el Método de Toma de Decisiones de Saaty," *Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología*, vol. I, pp. 148-170, Agosto 2003. https://alfredocarneiro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/09/ahp_01-anomalc3ada-y-supervivencia-en-el-mc3a9todo-de-saaty.pdf