

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD: APLICACIÓN EN LA EMPRESA DE PRODUCCIONES VARIAS DE CIEGO DE ÁVILA

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE: ITS APPLICATION AT THE EMPRESA DE PRODUCCIONES VARIAS OF CIEGO DE AVILA

Autores: Liurvis Quintanal González¹

Aramis Alfonso Llanes²

Arianna Padrón Rodríguez³

Institución: ¹Empresa de Producciones Varias (PROVARI) Ciego de Ávila, Cuba

²Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba

³Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: yanelly88@nauta.cu

aramisll@uclv.edu.cu

arypadron@nauta.cu

RESUMEN

La necesidad de reorientar los estudios referentes al tratamiento de las fallas operacionales en la planta de tuberías hidráulicas motiva a establecer como objetivo de la investigación la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad al equipamiento de dicha planta en la Empresa de Producciones Varias de Ciego de Ávila, como vía para asegurar el desempeño deseado de la Gestión de mantenimiento en la empresa. En la investigación se estudian y realizan análisis operacionales a cada una de las partes del flujo productivo mediante la utilización de técnicas como la observación directa, la tormenta de ideas, la valoración de indicadores y el criterio de expertos. Como principales resultados se obtienen el levantamiento de los elementos básicos de un programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, la confección de un plan de mantenimiento para los equipos estudiados y la estimación del impacto económico productivo de las tareas que conforman dicho plan de mantenimiento en los indicadores de desempeño de la empresa.

Palabras clave: Análisis de criticidad, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), Plan de mantenimiento.

ABSTRACT

The need to reorient the studies referring to the treatment of operational failures at the hydraulic pipeline plant motivates to establish as a research objective the application of Reliability Centered Maintenance to the equipment of the plant at the *Empresa Producciones Varias* of Ciego de Avila, as a way to ensure the desired performance of

Maintenance Management in the company. In the research, operational analyzes are studied and carried out to each of the parts of the productive flow through the use of techniques such as direct observation, brainstorming, the evaluation of indicators, and the judgment of experts. The main results are the uprising of the basic elements of a Reliability Centered Maintenance program, the preparation of a maintenance plan for the studied equipment, and the estimation of the productive economic impact of the tasks that make up the maintenance plan on the performance indicators of the company.

Keywords: Criticality analysis, Maintenance plan, Reliability Centered Maintenance (RCM).

INTRODUCCIÓN

Las nuevas necesidades en productividad, flexibilidad y fiabilidad obligan a las empresas, cada día, a buscar estrategias que mejoren sus procesos y servicios, con el objetivo de maximizar los resultados y minimizar los gastos (Bakri, Al-Fatihhi, y Szali-Januddi, 2020). La economía cubana está pasando por un profundo proceso de reconversión, desplegando cambios necesarios para salir adelante con una producción de calidad y al menor costo posible, para que el país pueda sobrevivir y además desarrollarse (CC-PCC, 2017). El desempeño de la empresa dependerá de la calidad de mantenimiento que se provea a cada uno de sus elementos (equipos, sistemas, instalaciones).

En Cuba la necesidad de una mayor atención al mantenimiento quedó expresada en los lineamientos derivados del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba (CC-PCC, 2011), y que recientemente fueron actualizados para el periodo 2021-2026 (CC-PCC, 2021). Además, en las Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030: Visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos (CC-PCC, 2017), se resalta el papel del mantenimiento para el logro de los objetivos planteados en varios de los ejes y sectores estratégicos definidos. En el año 2017 se pone en vigor la Resolución 116 (Ministerio de Industrias, 2017), donde se definen las “Indicaciones metodológicas que contienen los requisitos técnico-organizativos mínimos del sistema de mantenimiento industrial”, la cual fue derogada por la Resolución 66 (Ministerio de Industrias, 2021) que aborda el “Sistema de Gestión Integral de Mantenimiento Industrial”. Esta disposición regula la organización, estructura y funcionamiento del Sistema y destaca dentro de sus objetivos: desarrollar la ingeniería en la actividad de mantenimiento y lograr una gestión competitiva a través de la asimilación de nuevas tecnologías que aseguren la disciplina tecnológica y el cumplimiento de las normas técnicas y de calidad.

En la Empresa de Producciones Varias (PROVARI) Ciego de Ávila se puede detectar un grupo de limitaciones que conducen a la necesidad del planteamiento de una nueva propuesta que supere estas restricciones y contenga sus fortalezas. Dentro de las limitantes fundamentales están: el incremento de la estadía del equipamiento productivo, provocando en el último año, como promedio, el doble de las afectaciones previstas para un mes de trabajo; existencia de pérdidas productivas considerables (en unidades y en valores) debido a problemas con el mantenimiento del equipamiento de las plantas productivas principales; y el aumento de los costos de mantenimiento en un 25 % con respecto a períodos anteriores, debido a la ineficacia del sistema de gestión de esta función implantado en la empresa.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) se erige como una propuesta interesante para superar las limitaciones existentes en la empresa objeto de estudio al considerarse como una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial, muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo que contribuya a la mejora de la confiabilidad de la misma y, por consiguiente, al incremento de la rentabilidad de los procesos implicados y del valor de los activos fijos (Sifonte y Reyes-Picknell, 2017; Afzali, Keynia y Rashidinejad, 2019; Navarro, Martí y Yepes, 2019; Zakikhani, Nasiri y Zayed, 2020).

En el MCC se reconoce que el mantenimiento es más que asegurar que los elementos físicos continúen consiguiendo su capacidad incorporada a la fiabilidad inherente (Zakikhani, Nasiri, y Zayed, 2020). Su foco está orientado a mantener la función del sistema más que en restaurar al equipo a una condición ideal (Eriksen, Utne, y Lützen, 2021). Esto lleva a la definición formal siguiente: proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un activo físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente (Moubray, 1997; Ben-Daya, Kumar y Murthy, 2016; Afzali, Keynia y Rashidinejad, 2019).

SAE International (2009) define al MCC como una filosofía de gestión de mantenimiento en la cual un equipo de trabajo multidisciplinario establece las actividades más efectivas en función de la criticidad de los activos, teniendo en consideración los posibles efectos que originan sus modos de fallo en la seguridad, el ambiente y las funciones operacionales. Básicamente, según Moubray (1997) y Zakikhani, Nasiri, y Zayed (2020), el MCC se basa en acciones sistemáticas requeridas para planificar y verificar que los esfuerzos desarrollados en mantenimiento preventivo sean técnica y económicamente

aplicables.

En correspondencia a lo antes planteado se define como objetivo general de la investigación: aplicar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) a equipos clave de la planta de tuberías hidráulicas de la Empresa de Producciones Varias de Ciego de Ávila, como vía para asegurar el desempeño deseado de la Gestión de mantenimiento en la entidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento utilizado para llevar a cabo la aplicación del MCC en la Empresa PROVARI Ciego de Ávila consta de cinco etapas (figura 1), las cuales se describen, a grandes rasgos, a continuación.

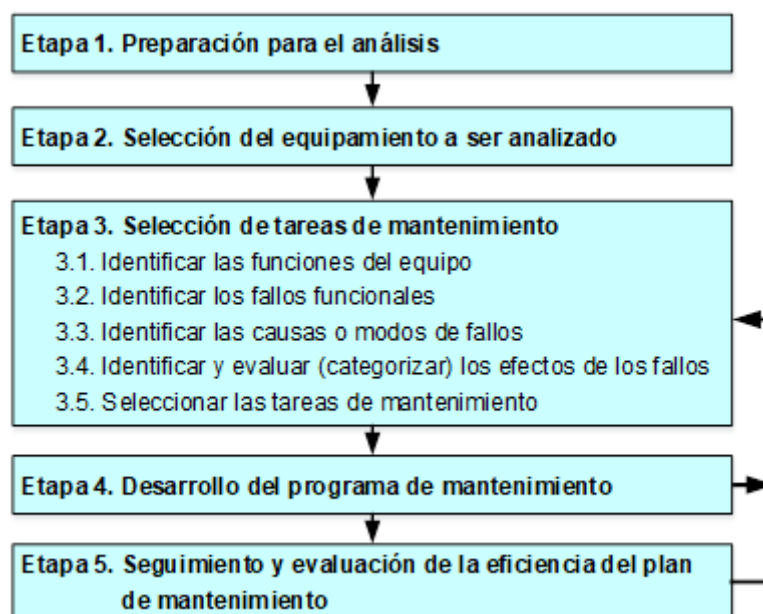


Figura 1. Procedimiento de MCC. Fuente: a partir de Moubray (1997) y SAE International (2011)

Etapa 1. Preparación para el análisis

La preparación del estudio a realizar presupone la realización de un trabajo preliminar y una planificación meticulosa encaminada a garantizar el desarrollo exitoso de la investigación. Para ello se propone la conformación del equipo de trabajo del MCC, el cual se encargará de llevar a cabo la aplicación de toda la metodología al equipamiento seleccionado, y el establecimiento del plan de trabajo.

Etapa 2. Selección del equipamiento a ser analizado

La selección y priorización de los equipos o sistemas candidatos a la aplicación de un programa de MCC considera la valoración de dos interrogantes fundamentales

(Moubray, 1997): ¿Para cuál de los sistemas el análisis es beneficioso, comparado con la planificación tradicional? y ¿A qué nivel de instalación (planta, sistema, subsistemas, etc.) debe ser conducida la ejecución del MCC?

En la literatura se han propuesto varios métodos de selección del equipamiento, dí-gase: evaluar la estadística de fallos del equipo (número de fallos, horas de parada, costo de pérdida de producción/servicio, problemas de seguridad, etc.) en un período determinado (Bulut y Özcan, 2021; Onawumi et al., 2021; Enjavimadar y Rastegar, 2022), la técnica de Pareto (regla 80/20) (Gong et al., 2020), y análisis de criticidad del equipamiento (por lo general en términos de seguridad, fiabilidad, operaciones/servicios, tiempo para reparar, impacto ambiental y control de la calidad) (Hourné-Calzada et al., 2012; Crespo-Márquez, González-Prida Díaz y Gómez-Fernández, 2018). Cualquiera que sea el método seleccionado o combinación de ellos, la meta de este paso resulta en proveer un análisis sistemático que permita enfocar el proceso de MCC hacia el equipamiento donde se logran los mejores beneficios y se alcance un retorno de la inversión elevado.

Etapa 3. Selección de tareas de mantenimiento

Para la realización de esta etapa se propone llevar a cabo los cinco pasos siguientes, enfocados a identificar las necesidades del contexto operacional a partir del análisis de las siete preguntas básicas del MCC (Moubray, 1997; SAE International, 2009):

1. Identificar las funciones
2. Identificar los fallos funcionales
3. Identificar las causas de fallos
4. Identificar y evaluar (categorizar) los efectos de los fallos
5. Seleccionar las tareas de mantenimiento

Paso 3.1. Identificar las funciones

Dado que la meta del MCC consiste en “preservar la función del sistema”, resulta primordial para los analistas que conforman el equipo de trabajo la definición de las funciones (las razones por las que existe) de cada uno de los equipos a analizar.

Paso 3.2. Identificar los fallos funcionales

Un fallo funcional es definido como la inhabilidad de un activo de cubrir una o más funciones acordes al funcionamiento deseado por el usuario. Los fallos funcionales pueden incluir: un fallo total del equipo, un cumplimiento bajo de la función, o un sobrecumplimiento de la función. Se debe tener bien claro que la definición de los

fallos funcionales de un equipo está estrechamente relacionada al contexto operacional donde este se desempeña.

Paso 3.3. Identificar las causas o modos de fallos

Un modo de fallo podría ser definido como cualquier evento que pueda causar el fallo funcional de un activo físico (sistema o proceso). El MCC como una estrategia enfocada proactivamente busca identificar, discutir, registrar y manejar los modos de fallos antes de que estos ocurran. Se recomienda que los modos de fallos sean descritos con los detalles suficientes para hacer posible la selección de la política de administración del fallo apropiada.

Paso 3.4. Identificar y evaluar (categorizar) los efectos de los fallos

Los efectos de los fallos deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar el modo de fallo (SAE International, 2011). Encontrar los efectos de los fallos supone responder a las interrogantes siguientes: ¿Qué se observará cuando ocurra el fallo?, ¿Cuál es el impacto en la producción/servicio?, ¿Cuál es el impacto en la seguridad y/o el medio ambiente?, ¿Qué cambio físico ocurrirá en el equipo o en los equipos adyacentes?, y ¿Qué alarma o indicación se observará cuando ocurra el fallo?

Los elementos abordados en estos primeros cuatro pasos son representados en las diferentes columnas de la llamada Hoja de Información del MCC.

Paso 3.5. Seleccionar las tareas de mantenimiento

La selección de las tareas de mantenimiento a aplicar (calificadas como: tarea cíclica “a condición”, tarea de reacondicionamiento cíclico, tarea de sustitución cíclica, y tareas “a falta de”) se realiza a través de la aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD) (Moubray, 1997; SAE International, 2011; Ben-Daya, Kumar y Murthy, 2016). La selección de las políticas de manejo de fallos debe ser llevada a cabo como si ninguna tarea específica estuviese siendo realizada actualmente para anticipar, prevenir o detectar el fallo.

El resultado de este paso será el conjunto de actividades de mantenimiento dirigidas a impedir que se materialicen las causas que provocan la aparición de los modos de fallo identificados para cada equipo crítico. Se definirá el contenido concreto de las acciones específicas que deben realizarse, así como su frecuencia de ejecución. Todo lo anterior se representa en la llamada Hoja de Trabajo de Decisión del MCC.

Etapa 4. Desarrollo del programa de mantenimiento

El plan de mantenimiento estará constituido por el conjunto final de tareas que se propone aplicar a cada componente, resultado de la comparación del plan de mantenimiento vigente en la instalación con las recomendaciones del análisis de MCC, con el objetivo de indicar aquellas tareas que deben eliminarse, retenerse, añadirse o modificarse. Lo anterior surge de aplicar los criterios siguientes:

- Si una tarea vigente en la planta no ha sido recomendada por el estudio de MCC se propondrá su anulación.
- Si una tarea recomendada por el estudio del MCC no se está aplicando en la actualidad, se propondrá su incorporación al plan de mantenimiento.
- Si una tarea vigente en la planta coincide con una tarea recomendada por el estudio del MCC, se propondrá su retención.
- Si la frecuencia de una tarea vigente en la planta no coincide con la de una tarea recomendada por el estudio del MCC, se propondrá la adopción de la frecuencia del estudio.

Las recomendaciones realizadas serán sometidas a su aprobación por parte de la Dirección de la empresa. Si son aprobadas se fijarán los criterios de aplicación y se asignarán los recursos necesarios; luego se deberá elaborar un nuevo programa de mantenimiento en el que se tenga en cuenta la potencial agrupación de tareas como medio para conseguir un alto grado de eficiencia en su ejecución. En algunos casos, será preciso elaborar nuevos procedimientos de trabajo y realizar ciertas adaptaciones de los procesos informáticos existentes que pudieran estar relacionados con el tema. Si las recomendaciones del grupo de trabajo del MCC no son aprobadas por la Dirección, se regresa a la etapa tres y se seleccionan nuevas tareas a realizar.

Etapa 5. Seguimiento y evaluación de la eficiencia del plan de mantenimiento

Este proceso requerirá la definición de unos parámetros o índices de seguimiento que muestren, precisa y continuamente, el nivel de mejora alcanzado; todo ello orientado a centrar las actividades al objetivo más idóneo e identificar los aspectos más importantes a tener en cuenta y que reflejen la efectividad relativa de la implantación del MCC. Además, requerirá la implementación pertinente de los procesos de captación de la información básica necesaria, el establecimiento del adecuado procedimiento de actuación y la correspondiente asignación de recursos. La necesidad de considerar nuevas técnicas de mantenimiento, añadir algún posible modo de fallo o componente

no analizado inicialmente, o revisar las hipótesis de estudio y sus conclusiones, harán conveniente actualizar cada cierto tiempo el estudio de MCC (retornar a la etapa 3), con el fin de minimizar la obsolescencia de las recomendaciones aportadas con el paso del tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación del procedimiento de MCC en la Empresa PROVARI de Ciego de Ávila se realiza solo para sus cuatro primeras etapas. Primeramente, se expuso a la Dirección de la empresa los objetivos del trabajo a realizar y se conformó el equipo de trabajo, el cual quedó integrado por los especialistas siguientes: Supervisor de servicio (técnico productivo), Especialista de medio ambiente y seguridad del trabajo, Especialista de mantenimiento (electricidad y mecánica), Supervisor de ingeniería (calidad), Operadores, y Especialista en economía (costos). La posición de facilitador fue desarrollada por uno de los autores de la investigación.

Los equipos seleccionados para la aplicación fueron los clasificados como críticos a partir de evaluar las variables frecuencia de fallos, impacto en la producción, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento, e impacto en la seguridad y el medio ambiente, para el período comprendido entre enero/2019 y febrero/2020; resultando elegidos los siguientes: la extrusora, el triturador stronger, el molino D-735, y el molino de láminas.

La evaluación de la criticidad del equipamiento a través de las variables consideradas, a diferencia de otros estudios similares (Hourné-Calzada et al., 2012; Crespo-Márquez, González-Prida Díaz y Gómez-Fernández, 2018; Gupta y Mishra, 2018; Afzali, Keynia y Rashidinejad, 2019; Bulut y Özcan, 2021; Onawumi et al., 2021), se realizó mediante una técnica semicuantitativa, debido a la falta de datos estadísticos históricos sobre el comportamiento de los fallos. Sin embargo, las variables empleadas en este análisis coinciden, en su mayoría, con las utilizadas en esas otras investigaciones. Además, se coincide con Gupta y Mishra (2018) al plantear que resulta factible realizar estudios sobre la implementación del RCM en entidades manufactureras donde la complejidad del equipamiento ha ido en incremento, como es el caso de la empresa PROVARI.

Una vez seleccionados los equipos a someter al estudio se recopila la información correspondiente a su función, fallo funcional, modos de fallos y los efectos de los fallos para cada uno de sus componentes, todo esto mostrado a través de la Hoja de trabajo de información del MCC. En la figura 2 se muestra un resumen de esta Hoja de trabajo para el equipo "Máquina extrusora". En este apartado es de destacar que en la

presente investigación solamente fue identificada una función general (primaria) para cada componente analizado, a diferencia de la mayoría de los estudios disponibles en la literatura, donde se expone, además, alguna función secundaria.

HOJA DE INFORMACIÓN		Área: Fundición		Nº.	Realizado por:	Fecha:	Hoja: 1
MCC		Equipo: Máquina extrusora		Ref.	Revisado por:	Fecha:	De: 3
FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DEL FALLO	
1	Conformar tuberías hidráulicas de ½, ¾ y 1 pulgadas a partir de la fundición de la materia prima a altas temperaturas.	A	No conforma las tuberías hidráulicas de ½, ¾ y 1 pulgadas a partir de la fundición de la materia prima a altas temperaturas.	1	Desgaste en los contactos del magnético de arranque.	La máquina no logra arrancar y poner en marcha el proceso productivo.	
				2	Roturas en los rodamientos y correas.	Se detiene el movimiento del motor y la transmisión del mismo.	
				3	Deterioro en las conexiones eléctricas.	Se detiene el proceso de fundición por falta de energía eléctrica.	
				4	Niveles de aceites insuficientes.	Sobrecalentamiento del motor y paralización por quema.	
				5	Roturas en los pedestales.	Pérdida de la estabilidad de la máquina	
		B	Las tuberías hidráulicas se conforman, pero no siempre mantienen los parámetros físicos y de calidad.	1	Rotura de la resistencia del cabezal.	No se logran los valores de temperaturas óptimos para la fundición.	
				2	Ruptura del temporizador general.	No es posible observar las variaciones de temperatura en el proceso.	
		C	Las tuberías hidráulicas se conforman, pero no cumplen las medidas establecidas.	1	Fractura de la base estructural.	Desacoplamiento de los elementos de calibración.	
				2	Perdida en la sujeción de los componentes de acople.	Inestabilidad en los acoples de terminación.	

Figura 2. Hoja de trabajo de información del MCC del equipo Máquina extrusora

En la figura 3 se muestran, para uno de los equipos estudiados, a través de la Hoja de decisión del MCC, las tareas propuestas (seleccionadas a partir del Árbol lógico de decisión), el intervalo de frecuencia con que deben ser realizadas y el especialista responsable de su ejecución.

HOJA DE DECISIÓN DEL MCC								Área: Fundición				No.	Realizado por:	Fecha:	Hoja: 1	
								Equipo: Máquina extrusora				Ref.	Revisado por:	Fecha:	De: 3	
Referencias de Información			Evaluación de Consecuencias					H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por:
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
							N1	N2	N3							
1	A	1	N				S1						Medir el amperaje del motor para verificar que no se esté sobre esforzando y así elevando el flujo eléctrico a través del breaker	Diario	Electricista	
1	A	2	N				S1						Inspeccionar la calidad del sistema eléctrico general	Semanal	Electricista	
1	B	1	S	N	N	S			S3				Revisión y/o cambio de la faja del motor	6 meses	Técnico mecánico	
1	B	2	S	N	N	S	S1						Inspeccionar visualmente la resistencia del cabezal para su posible sustitución	Diario	Técnico mecánico	
1	B	3	S	N	N	S	S1						Inspeccionar visualmente la faja en busca de desgaste, resequead, o cualquier otra anomalía	7 semanas	Técnico mecánico	
1	C	1	S	N	N	S	N1	S2					Inspección diaria de los niveles de aceites	Diario	Técnico mecánico	
1	C	2	S	N	N	S	S1						Revisar el estado de la estructura de la extrusora para detectar posibles fracturas y presencia de corrosión	Diario	Técnico mecánico	
1	C	3	S	N	N	S	S1						Revisar la temperatura del motor con un pirómetro	Diario	Electricista	
1	D	1	S	N	N	S	S1						Lubricar los rodamientos del motor	Semanal	Electricista	

Figura 3. Hoja de trabajo de decisión del MCC del equipo Máquina extrusora

Al analizar las acciones propuestas para contener la ocurrencia de los modos de fallo, en la presente investigación predominan las tareas de reacondicionamiento cíclico y,

en menor medida, las tareas a condición. No se proponen tareas de sustitución cíclica, a diferencia de otros trabajos (Yssaad y Abene, 2015; Tang et al., 2016; Eriksen, Utne y Lützen, 2021) donde es muy frecuente descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independientemente de su condición en ese momento. Por otro lado, se coincide con la mayoría de estos autores al evitar la ocurrencia de acciones correctivas o “a falta de”.

La definición de los intervalos o frecuencia de las tareas propuestas se ha realizado a partir del criterio de operarios concedores del equipamiento estudiado, debido, fundamentalmente, a la falta de datos históricos sobre el comportamiento de los fallos. En los estudios disponibles en la literatura (Selvik y Aven, 2011; Navarro, Martí y Yepes, 2019; Zakikhani, Nasiri y Zayed, 2020; Bulut y Özcan, 2021; Fuentes-Huerta et al., 2021; Lu et al., 2021), generalmente se utilizan modelos matemáticos para determinar los intervalos óptimos de ocurrencia de las acciones de mantenimiento.

A partir del análisis de los resultados alcanzados en las etapas anteriores el grupo de trabajo propuso el plan y cronograma de mantenimiento para cada uno de los equipos estudiados. En las figuras 4 y 5 se presenta una muestra de ellos, respectivamente.

Equipo	Tareas de mantenimiento	Trabajo a realizar	Herramientas	Periodo	Personal	Condición de máquina	Observaciones
Máquina extrusora	Medir el amperaje del motor para verificar que no se esté sobre esforzando y así elevando el flujo eléctrico a través del breaker	Medición	Pinza amperimétrica	Diario	Electricista	En movimiento	Mientras mayor sea el esfuerzo que realiza el motor, mayor corriente consumirá
	Inspeccionar visualmente la calidad del sistema eléctrico general	Inspección	Alicates, destornillador	Semanal	Electricista	En movimiento	
	Revisión y/o cambio de la faja del motor	Revisión	Llaves, destornillador	6 meses	Mecánico	Detenida	
	Inspeccionar visualmente la resistencia del cabezal para su posible sustitución	Inspección	Destornillador	Diario	Electricista	En movimiento	Cada vez que se hace limpieza, probar los interruptores para verificar que si activan correctamente
	Inspeccionar visualmente la faja en busca de desgaste, resequeidad, o cualquier otra anomalía	Inspección		7 semanas	Mecánico	Detenida (antes de comenzar la producción)	Inspección
	Inspección diaria de los niveles de aceite	Cambio	Llave 24"	Diario	Técnico mecánico	Detenida (antes de comenzar la producción)	-
	Revisar el estado de la estructura de la extrusora para detectar posibles fracturas y presencia de corrosión	Revisión		Diario	Mecánico	En movimiento	Esta inspección debe realizarse sin medir el tiempo entre revisión
	Revisar la temperatura del motor con un pirómetro	Revisión	Pirómetro	Diario	Técnico mecánico	En movimiento	
	Lubricar los rodamientos del motor	Cambio	Destornillador, llaves	semanal	Mecánico	Máquina parada (antes de comenzar la producción)	Cada vez que se hace limpieza, probar los interruptores para verificar que si activan correctamente

Figura 4. Plan de mantenimiento propuesto para el equipo Máquina extrusora

Equipo	Tareas de mantenimiento	Mes																																																										
		E				F				M				A				M				J				J				A				S				O				N				D														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Máquina extrusora	Medir el amperaje del motor para verificar que no se esté sobre esforzando y así elevando el flujo eléctrico a través del breaker	D																																																										
	Inspeccionar visualmente la calidad del sistema eléctrico general	S																																																										
	Revisión y/o cambio de la faja del motor																									6m																									6m									
	Inspeccionar visualmente la resistencia del cabezal para su posible sustitución	D				D				D				D				D				D				D				D				D				D				D				D				D				D						
	Inspeccionar visualmente la faja en busca de desgaste, resequead, o cualquier otra anomalía	7s				7s				7s				7s				7s				7s				7s				7s				7s				7s				7s				7s				7s										
	Inspección diaria de los niveles de aceite	D																																																										
	Revisar el estado de la estructura de la extrusora para detectar posibles fracturas y presencia de corrosión	D																																																										
	Revisar la temperatura del motor con un pirómetro	D																																																										
Lubricar los rodamientos del motor	S																																																											

Figura 5. Cronograma de mantenimiento propuesto para el equipo Máquina extrusora

Una vez aplicado el plan de mantenimiento los expertos consideran que se podría evidenciar un mejoramiento paulatino (impacto económico productivo) para un grupo de indicadores de desempeño, tanto del área de mantenimiento como de la entidad en general, luego de que se vaya ganando en experiencia en el funcionamiento de las tareas propuestas. En la tabla 1 se muestra el comportamiento estimado por los expertos para un grupo de estos indicadores, en un período de tres años.

Tabla 1. Impacto estimado de las tareas propuestas en indicadores de desempeño de la empresa

Indicador	Actual	1 ^{er} año	2 ^{do} año	3 ^{er} año
Cantidad de horas de fallo (h/a)	158.3	102.7	53.7	39.6
Pérdidas de producción (\$/a)	11 081	7 189	3 759	2 772
Productividad (\$/mes)	701	725	747	753
Disponibilidad operativa (%)	91	94	96	97
Productividad (%)	91	94	97	98
Pérdida por inoperatividad (\$/a)	20 562.00	13 300.00	6 900.00	5 200.00

A la aplicación del procedimiento general del MCC, en la Empresa PROVARI Ciego de Ávila, el grupo de expertos también asocia los beneficios siguientes, los cuales coinciden con los esbozados en otras investigaciones (Moubrey, 1997; Sifonte y Reyes-Picknell, 2017; Bakri, Al-Fatihhi y Szali-Januddi, 2020):

- Determinación de las tareas preventivas de mantenimiento a aplicar ante cada

uno de los modos de fallo que afectan el logro de la función del equipo, así como la frecuencia con que deben realizarse y el personal implicado.

- Formación progresiva de una cultura de cambio respecto a la manera proactiva de abordar el mantenimiento al tener definidos los modos de fallos del equipamiento con anterioridad, así como las posibles acciones a acometer para su cubrimiento.
- Una mayor motivación del personal, especialmente el que interviene en el proceso de revisión; así como un balance más realista de la utilización de la fuerza de trabajo del mantenimiento.
- Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:
 - la definición de estrategias claras para prevenir los modos de fallo que puedan afectar la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas preventivas apropiadas;
 - la disminución del número de fallos causados por mantenimientos innecesarios.

De manera general, la investigación, independientemente a las particularidades destacadas anteriormente (análisis de criticidad, selección de acciones de mantenimiento y definición de sus intervalos de aplicación), alcanza resultados similares a otras disponibles en la literatura (Navarro, Martí y Yepes, 2019; Eriksen, Utne y Lützen, 2021; Enjavimadar y Rastegar, 2022), pues se definen las acciones de mantenimiento y su programación en el tiempo (cronograma) que, implementadas proactivamente, permitirán limitar la ocurrencia de fallos en equipos considerados como críticos en el proceso productivo analizado.

CONCLUSIONES

La potencialidad demostrada por el MCC para identificar tareas de mantenimiento eficaces y efectivas, optimizando los planes actuales con un alto impacto técnico y económico, la convierte en una propuesta adecuada para superar las limitaciones existentes en la planta de tuberías hidráulicas de la Empresa PROVARI Ciego de Ávila. En este sentido, en la investigación se presenta un procedimiento que facilita la implementación de esta metodología de una manera sencilla y entendible.

La efectividad del procedimiento utilizado para la implementación del MCC quedó demostrada mediante su aplicación en la entidad objeto de estudio práctico de la investigación. Ello se evidencia en la definición de un plan de mantenimiento basado en este sistema de gestión que, según estimaciones de los expertos participantes en el estudio, contribuirá al mejoramiento del desempeño productivo y económico de la

planta de tuberías hidráulicas de la Empresa PROVARI Ciego de Ávila.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFZALI, P., KEYNIA, F. y RASHIDINEJAD, M. (2019). A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. *Energy*. Vol. 171, No. 15, pp. 701-709. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.040> Visitado el 12 de octubre de 2021.
- BAKRI, A., AL-FATIHHI, M. y SZALI JANUDDI, M. (2020). *Systematic Industrial Maintenance to Boost the Quality Management Programs*. Suiza: Ed. Springer.
- BEN-DAYA, M., KUMAR, U. y MURTHY, D.N.P. (2016). *Introduction to Maintenance Engineering. Modelling, Optimization and Management*. Reino Unido: Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- BULUT, M. y ÖZCAN, E. (2021). A new approach to determine maintenance periods of the most critical hydroelectric power plant equipment. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107238> Visitado el 19 de noviembre de 2021.
- COMITÉ CENTRAL DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA, CC-PCC. (2011). *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. 6to Congreso PCC. La Habana: Ed. Política.
- COMITÉ CENTRAL DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA, CC-PCC. (2017). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030: Visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos*. La Habana: Ed. Política.
- COMITÉ CENTRAL DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA, CC-PCC. (2021). *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026*. La Habana: Ed. Política.
- CRESPO-MÁRQUEZ, A., GONZÁLEZ-PRIDA DÍAZ, V. y GÓMEZ-FERNÁNDEZ, J.F. (2018). *Advanced Maintenance Modelling for Asset Management. Techniques and Methods for Complex Industrial Systems*. Suiza: Ed. Springer International Publishing AG.
- ENJAVIMADAR, M.H. y RASTEGAR, M. (2022). Optimal reliability-centered maintenance strategy based on the failure modes and effect analysis in power distribution systems. *Electric Power Systems Research*. Vol. 203, 107647. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107647> Visitado el 05 de diciembre de 2021.
- ERIKSEN, S., UTNE, I.B. y LÜTZEN, M. (2021). An RCM approach for assessing

- reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 210, 107550. Disponible en: <https://doi:10.1016/j.ress.2021.107550> Visitado el 09 de diciembre de 2021.
- FUENTES-HUERTA, M.A. [et al.] (2021). Fuzzy reliability centered maintenance considering personnel experience and only censored data. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 158, 107440. Disponible en: <https://doi:10.1016/j.cie.2021.107440> Visitado el 09 de octubre de 2021.
- GONG, J. [et al.] (2020). Determination of key components in automobile braking systems based on ABC classification and FMECA. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.01.008> Visitado el 20 de septiembre de 2021.
- GUPTA, G. y MISHRA, R.P. (2018). Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance. *Procedia 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference*, pp. 905–909. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.122> Visitado el 22 de noviembre de 2021.
- HOURNÉ-CALZADA, M.B. ... [et al.] (2012). Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 21, No. 3, pp. 55-61. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n3/rcta09312.pdf> Visitado el 7 de diciembre de 2021.
- LU, X.Q. ... [et al.] (2021). Metaheuristics for homogeneous and heterogeneous machine utilization planning under reliability-centered maintenance. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 151, 106934. Disponible en: <https://doi:10.1016/j.cie.2020.106934> Visitado el 09 de diciembre de 2021.
- MINISTERIO DE INDUSTRIAS (2017). Resolución No. 116/2017. Indicaciones metodológicas que contienen los requisitos técnico-organizativos mínimos del sistema de mantenimiento industrial. Gaceta Oficial No. 42 Extraordinaria de 3 de octubre de 2017. La Habana.
- MINISTERIO DE INDUSTRIAS (2021). Resolución No. 66/2021. Sistema de Gestión Integral de Mantenimiento Industrial. Gaceta Oficial No. 86 Ordinaria de 30 de julio de 2021. La Habana.
- MOUBRAY, J. (1997). Reliability Centered Maintenance. 2da ed. U.S.A.: Ed. Industrial Press.
- NAVARRO, I.J., MARTÍ, J.V. y YEPES, V. (2019). Reliability-based maintenance optimization of corrosion preventive designs under a life cycle perspective. *Envi-*

- ronmental Impact Assessment Review*. Vol. 74, pp. 23–34. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.10.001> Visitado el 20 de septiembre de 2021.
- ONAWUMI, A.S. ... [et al.] (2021). Development of strategic maintenance prediction model for critical equipment maintenance. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 44, part 1, pp. 2820-2827. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1163> Visitado el 15 de octubre de 2021.
- SAE INTERNATIONAL. SAE JA 1011 (2009). Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. U.S.A., 12 p.
- SAE INTERNATIONAL. SAE JA 1012 (2011). A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. U.S.A., 62 p.
- SELVIK, J.T. y AVEN, T. (2011). A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 96, No. 2, pp. 324-331. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.08.001> Visitado el 08 de octubre de 2021.
- SIFONTE, J.R. y REYES-PICKNELL, J.V. (2017). Reliability Centered Maintenance. Reengineered. Practical optimization of the RCM process with RCM-R. U.S.A.: Ed. CRC Press.
- TANG, Y. ... [et al.] (2016). A framework for identification of maintenance significant items in Reliability Centered Maintenance. *Energy*. Vol. 118, pp. 1295-1303. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011> Visitado el 23 de octubre de 2021.
- YSSAAD, B. y ABENE, A. (2015). Rational Reliability Centered Maintenance Optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Vol. 73, pp. 350–360. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.05.015> Visitado el 14 de noviembre de 2021.
- ZAKIKHANI, K., NASIRI, F. y ZAYED, T. (2020). Availability-based reliability-centered maintenance planning for gas transmission pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. Vol. 183. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104105> Visitado el 12 de octubre de 2021.