

Sistema de ayuda a la gestión del mantenimiento de maquinaria y vehículos en un Distrito de Riego

FLORES-CARBALLO, Alba Nohemí*†, PÉREZ-OSUNA, Sergio, CARBALLO-MENDÍVIL, Blanca y ARELLANO-GONZÁLEZ, Alejandro

Instituto Tecnológico de Sonora. Calle 5 de Febrero 818, Centro, Urb. No. 1, 85000 Cd Obregón, Son.

Recibido 11 de Enero, 2017; Aceptado 16 de Marzo, 2017

Resumen

Se muestran los resultados de un proyecto de mejora en un distrito de riego del estado de Sonora, donde detectó un bajo desempeño del proceso de mantenimiento de maquinaria pesada y vehículos de transporte que utiliza para prestar sus servicios. Se utilizó una metodología de diseño que a partir de una conceptualización ideal del sistema de gestión del mantenimiento, permite la incorporación de buenas prácticas de modelos teórico-prácticos reportados en la literatura, para la creación de sistemas de ayuda que facilitan el monitoreo y control a través de una toma de decisiones basadas en datos obtenidos en tiempo real. El sistema de ayuda desarrollado en hojas de cálculo de Excel, además de incluir las funciones básicas de registro de operación y fallas como dato histórico, permite la programación del mantenimiento preventivo y el monitoreo del estado de indicadores de eficiencia y costo, representándolos de manera visual en gráficas dinámicas. El uso de este sistema permitirá la mejora de la gestión del mantenimiento, reduciendo tiempos de captura de datos y facilitando su interpretación para apoyar la toma de decisiones a nivel operativo y táctico.

Gestión del mantenimiento, Sistemas de soporte a decisiones, Metodología de Sistemas Suaves

Abstract

The results of an improvement project in an irrigation district in Sonora are shown, where it was detected a low performance of the maintenance process of heavy machinery and transportation vehicles used to provide its services. A design methodology was used that, based on an ideal conceptualization of the maintenance management system, allows the incorporation of good practices of theoretical-practical models reported in the literature, for the creation of support systems that facilitate the monitoring and control to Through decision-making based on data obtained in real time. The support system developed in Excel spreadsheets, in addition to the basic operations log and fault functions as historical data, allows the programming of preventive maintenance and monitoring of the status of indicators of efficiency and cost, visually representing them in dynamic graphs. The use of this system will allow the improvement of the management of the maintenance, reducing times of data capture and facilitating its interpretation to support the decision making at the operational and tactical level.

Maintenance management, Decision support systems, Soft Systems Methodology

Citación: FLORES-CARBALLO, Alba Nohemí, PÉREZ-OSUNA, Sergio, CARBALLO-MENDÍVIL, Blanca y ARELLANO-GONZÁLEZ, Alejandro. Sistema de ayuda a la gestión del mantenimiento de maquinaria y vehículos en un Distrito de Riego. *Revista de la Invención Técnica* 2017. 1-1:42-54

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: davd_francom@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

El agua es un tema prioritario en todo el mundo ya que únicamente el 2.5%, es decir 35 billones de hm³, es agua dulce, y casi el 70% no está disponible para consumo humano porque se encuentra en glaciares, nieve y hielo; se estima que solamente el 0.77% es agua dulce accesible al ser humano. (Comisión Nacional del Agua - CONAGUA, 2016).

Entre los países del mundo con mayor extracción de agua para uso agrícola, industrial y de abastecimiento público, México se ubica en el séptimo lugar con una extracción total de 85.66 miles de hm³/año, de los cuales el 76.3% es de uso agrícola, principalmente para riego. Asimismo, ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en superficie con infraestructura de riego.

Según CONAGUA (2014), el área con infraestructura para riego es de 6.5 millones de hectáreas aproximadamente, de las cuales 3.3 millones corresponden a 86 distritos de riego (DR) y los 3.2 millones restantes a más de 40 mil unidades de riego (UR).

Particularmente, los DR son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros (CONAGUA, 2016).

La capacidad productiva real de los DR depende directamente del estado físico de su infraestructura (2010). Por ello, más de la mitad del presupuesto de los DR se destina a la conservación y el mantenimiento de la infraestructura para realizar el control de la maleza en canales, drenes y caminos, principalmente mediante el método mecánico.

Sin embargo, en muchos casos, estos recursos económicos resultan insuficientes para sostenerla en condiciones óptimas, lo que se traduce en una baja en la eficiencia global del manejo del agua.

Uno de los DR establecidos en México, objeto de este estudio, está localizado en el estado de Sonora y presta servicios de operación, conservación y mantenimiento a la red mayor de canales, red de drenaje, caminos, a infraestructura complementaria, maquinaria y equipo que le fue permisionado por el gobierno federal a través de la CONAGUA para asegurar la entrega del agua a sus usuarios, los agricultores de la zona.

Estructuralmente hablando, este DR se compone tres divisiones organizacionales: administración, operación y conservación. Particularmente el área de conservación, que se encarga de mejorar y conserva la infraestructura hidráulica, cuenta con tres áreas funcionales: supervisión y obras, obras y proyectos, y maquinaria y taller, esta última relacionada intrínsecamente con la producción y la productividad de los DR, ya que tiene como fin asegurar el funcionamiento integral, no sólo de las unidades, sino de la maquinaria necesaria para dar servicio de conservación a los canales, caminos y sistemas de drenaje.

Este sistema de gestión del mantenimiento debe ser visto como un factor para mejorar la competitividad de la organización, asumiendo el reto es evolucionar del paradigma de la corrección a la práctica de la prevención, ya que el mantenimiento debe verse como un elemento clave de la competitividad en lugar de un mal necesario, al servir de soporte a la gestión de operación, lo cual tendrá un efecto de reducción de costos.

En el DR objeto de estudio, actualmente este sistema se encuentra en un estado de maduración tardío, comparándolo a modelos de gestión de mantenimientos propuestos por Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera y Crespo (2013) y García, González y Cortés (2009), donde en cada etapa del proceso de gestión puede aplicarse una herramienta de mejora distinta.

El modelo ideal para la gestión del mantenimiento indica que en una etapa de planeación se deben realizar análisis de la situación actual, jerarquización de equipos (RCM), análisis de puntos débiles en equipos y diseño de planes y recursos. La situación actual del DR objeto de estudio refleja que no existen indicadores que midan la efectividad de la gestión, la maquinaria clasificada por productividad, existe un desconocimiento de las fallas más comunes, y una planeación que se realiza sobre la marcha, con desconocimiento de recursos necesarios.

Por su parte, en la fase del hacer, el modelo ideal indica que se debería incluir una programación de las actividades y optimización de los recursos. En el DR objeto de estudio se hace una programación a corto plazo y se tiene un desconocimiento de la eficiencia en el uso de recursos.

Respecto a la mejora, el modelo ideal indica que se debe realizar una evaluación y control de la ejecución, y que debería de partir de un análisis del ciclo de vida de la maquinaria para establecer acciones de mejora. La realidad del DR estudiado indica que sólo se captura la información de actividades realizadas en el taller, pero no se utiliza para la toma de decisiones, como por ejemplo para saber cuándo se debe reemplazar la maquinaria que ya se encuentra depreciada.

Planteamiento del problema

Actualmente, en este sistema de gestión del mantenimiento en el DR objeto de estudio se identifican una serie de brechas respecto a los modelos ideales sobre esta actividad. Primeramente, se detectó que la planeación de las actividades se realiza sobre la marcha, por lo que la programación de limpiezas, cambios de aceite y componentes simples es a corto plazo, sin embargo, no existen planes de contingencia en caso de averías. Al no estar estandarizado ni documentado el proceso, un mantenimiento puede tardar desde unas horas (en caso de ser preventivo), y de entre uno y dos días hasta 15 o 30 días (mantenimientos correctivos).

Asimismo, se depende del operador como el encargado de verificar y reportar las condiciones de la maquinaria, y en algunas ocasiones esta tarea pasa desapercibida, lo que puede retrasar las actividades de mantenimiento correspondientes a la maquinaria asignada, lo que ocasiona que el gerente de mantenimiento tenga que ir por cuenta propia a hacer verificaciones pertinentes.

Por su parte, para dar evidencia de la ejecución de las actividades y el uso de recursos empleados en cada turno de trabajo en formatos de Microsoft Excel propuestos por el ingeniero de mantenimiento. Sin embargo, estos no son procesados ni utilizados en la toma de decisiones.

Respecto a los indicadores, se mide la eficiencia de la maquinaria, que indica las horas productivas por día, contemplando el tiempo en que la máquina está en condiciones para trabajar, lo cual permite identificar cuánto tiempo se encuentra detenida. No obstante, no se ha establecido algún otro indicador dentro del taller que evalúe la efectividad de las actividades de mantenimiento que ahí se realizan.

Dado lo anterior se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué acciones deben implementarse para mejorar la gestión de las actividades del taller de mantenimiento y facilitar la toma de decisiones?

Objetivo

Desarrollar un sistema de ayuda con apoyo en la tecnología que permita la mejora de la gestión de las actividades de mantenimiento a la maquinaria y vehículos de transporte del Distrito de Riego.

Justificación

Para que un DR pueda realizar una entrega oportuna y suficiente de agua a los usuarios, y estos puedan desarrollar la actividad agrícola, se requieren adecuadas condiciones de su infraestructura hidroagrícola. Actualmente, para realizar estas actividades el DR objeto de estudio destina más de la mitad de su presupuesto a la conservación de canales, drenes y caminos, ya que la productividad depende directamente del mantenimiento de la maquinaria y el equipo utilizado en la realización de sus actividades. Con este proyecto se pretende empaquetar una solución que apoye a la organización en la gestión de este proceso de mantenimiento, considerando modelos de referencia y las buenas prácticas en esta actividad, lo cual permitirá obtener una mejora en la gestión y eficiencia de las operaciones del proceso de conservación en canales, drenes y caminos.

Desarrollar este proceso en un ambiente empírico como se ha venido ejecutando a la fecha, no sólo tiene un efecto directo con los costos de conservación, los cuales seguirán manteniéndose elevados o incluso podrían incrementarse, sino que repercute en los costos de servicio que se les da a los usuarios (agricultores), incrementando directamente los costos de producción de alimentos en la región e impactando de manera negativa en las familias, la competitividad de otras empresas que participan en el clúster agrícola, y para la economía en general.

Marco Teórico

A continuación, se presentan algunos aspectos teórico-metodológicos relacionados a la gestión del mantenimiento, así como algunos estudios referenciales realizados sobre el tema en diferentes sectores económicos.

La función del mantenimiento

De acuerdo con lo expuesto por Hernández, Carro, Montes de Oca y Fernández (2008), la función del mantenimiento ha cambiado a través de los años, a la par de la evolución de otras disciplinas, enfoques y requerimientos, sobre todo los relacionados con la calidad y competitividad, así como por los nuevos requerimientos asociados a la confiabilidad, disponibilidad, seguridad del personal y costos de operación.

Hoy en día el mantenimiento debe asegurar que todo activo físico continúe desempeñando las funciones deseadas (García-Monsalve, González-S., & Cortés-M., 2009). Para ello, diversos autores encontrados en la literatura concuerdan que se deben implementar las siguientes tres estrategias principales, independientemente del sector que se refiera (Shkiliova & Fernandez Sanchez, 2011).

Corregir: reparar la falla después que esta se haya presentado para restituirle al equipo su capacidad de trabajo. El sistema correctivo incluye también cierto tipo de actividades de tipo predictivo, como la limpieza y lubricación.

Prevenir: realizar acciones para preservar o proteger los equipos de las posibles fallas y/o disminuir su aparición, de acuerdo a un plan. Ejemplo: limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes, cambios de elementos y hasta reparaciones planificadas previamente.

Predecir: realizar monitoreo, programado o de manera continua, para conocer el estado técnico actual del equipo y su remanente de vida útil o estado límite, con el fin de poder identificar la conveniencia o no de acciones correctoras.

Por otro lado, Ortiz-Useche, Rodríguez-Monroy e Izquierdo (2013) agregan a esta trilogía un sistema de mantenimiento adicional, que consiste en la detección o búsqueda de fallas a través de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos sean capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios.

Factores críticos de éxito para la implantación del mantenimiento integral

De acuerdo a la investigación realizada por Hernández-Gómez, Escobar-Toledo, Larios-Prado y Noriega-Morales (2015) son nueve los factores críticos que contribuyen al éxito de un programa de mantenimiento:

1) Alineación estratégica del mantenimiento, lo cual conlleva a contar con un plan de propio que contenga una declaración de misión y propósitos, indicadores de desempeño, metas, tiempos de implantación, responsabilidades y un plan de reconocimientos del desempeño, para reducir la resistencia al cambio.

2) Integración con prácticas de mejora continua, al implementar herramientas de Administración Total de la Calidad y Justo a Tiempo.

3) Distribución de planta o diseño de instalaciones para la adecuada operación del equipo y para que el mantenimiento sea fácil de efectuar.

4) Mantenimiento Autónomo, el cual implica asignarle al operario la responsabilidad del mantenimiento preventivo.

5) Alineación de un equipo de trabajo multidisciplinario enfocado al despliegue del plan de mantenimiento.

6) Integración con clientes para identificar sus necesidades y con proveedores de refacciones.

7) Aplicación de tecnología de vanguardia en la producción, lo que ofrece mejores niveles de mantenibilidad.

8) Comunicación entre áreas o departamentos.

9) Desarrollo de equipo propio que tome en cuenta requisitos de mantenibilidad.

Gestión del mantenimiento

Según lo establecido en la Norma Internacional ISO 9001 (2015), la gestión de los procesos puede alcanzarse utilizando el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) como un enfoque global de pensamiento basado en riesgos dirigido a aprovechar las oportunidades y prevenir resultados no deseados. Este puede describirse brevemente como sigue:

Planificar: establecer objetivos del sistema y sus partes, y recursos necesarios para obtener los resultados de acuerdo que espera el cliente.

Hacer: implementar lo planificado.

Verificar: monitorear el proceso para identificar brechas respecto a lo planificado.

Actuar: tomar acciones para mejorar el desempeño.

La moderna gestión del mantenimiento incluye actividades destinadas a determinar objetivos y prioridades, estrategias y responsabilidades, que faciliten la planificación, programación y control de la ejecución del mantenimiento orientado hacia la mejora continua (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013).

Para lo anterior, es imprescindible contar con indicadores de desempeño definidos que permitan evaluar la efectividad de mantenimiento, que según García-Monsalve, González-S. y Cortés-M. (2009) puede medirse a través de indicadores asociado con: eficiencia y productividad, organización y recursos humanos, servicios externos, costos, calidad y percepción del cliente y resultados técnicos.

Es por ello que según Ortiz, Rodríguez e Izquierdo (2013) el mantenimiento desarrolla técnicas y métodos para la detección, control y ejecución de actividades que garanticen el buen desempeño de la maquinaria. Lo anterior resulta imposible sin productos informáticos que garanticen de forma automatizada el procesamiento de toda la información relacionada con la gestión de mantenimiento y la evaluación del mismo.

Metodologías y modelos aplicables

Algunas metodologías a considerar cuando se desea diseñar el sistema de gestión de mantenimiento son las siguientes.

Metodología 5QS. Propuesta por García Monsalve, González-S., Cortés-M. (2009) para diseñar e implementar el plan de mantenimiento.

Consta de cinco etapas: a) diagnóstico (evaluación organizacional y de recursos a destinar para el mantenimiento); b) diseño (definición de estrategias apropiadas, según sea el caso: prevenir, corregir, predecir o combinar las anteriores); c) implementación (ejecución de estrategias y documentación, incluyendo la elaboración de procedimientos e instructivos); d) medición (definición de indicadores de gestión, eficiencia y costos); y e) mejoramiento (evaluación global y ajustes).

Modelo de gestión del mantenimiento.

Modelo avanzado para la gestión integral del mantenimiento en un ciclo de mejora continua, diseñado por Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera y Crespo (2013) con base en otros 17 modelos realizados por expertos. Este modelo define siete etapas: a) análisis de la situación actual (definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento); b) jerarquización de equipos (análisis de criticidad); c) análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto (causa raíz); d) diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios (mantenimiento centrado en fiabilidad); e) programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos (programación detallada de todas las actividades de mantenimiento); f) evaluación y control de la ejecución del mantenimiento (controlar desviaciones para perseguir continuamente los objetivos de negocio y los valores estipulados para los KPIs); y g) análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos (cálculo del costo global de mantenimiento). **Metodología para el diseño de sistemas (MEDS).** Es una metodología de referencia de utilidad cuando se desea diseñar un sistema de apoyo a la gestión de cualquier aspecto organizacional; aplica el pensamiento de sistemas y su aplicación en las organizaciones a través del enfoque de por procesos y la filosofía de mejora continua PHVA.

Propuesta por Arellano-González, Carballo-Mendívil y Ríos- Vázquez (2017), no sólo orienta en la descripción general del objeto bajo estudio, la conceptualización de modelos de referencia para el análisis del sistema, el análisis de su situación actual, la documentación de la propuesta de mejora, sino que propone una serie de pasos para el diseño del sistema pertinente, basándose en la Metodología de Sistemas Suaves (SSM) de Checkland y Scholes (1994), y el desarrollo de sistemas de ayuda utilizando herramientas tecnológicas para apoyar la implementación de los cambios necesarios y su describir en procedimientos.

Metodología de investigación

Para elaborar el sistema de ayuda para la gestión del mantenimiento de maquinaria y vehículos en el DR objeto de estudio, se utilizó como soporte la estructura de la metodología MEDS, apoyándose además en los requerimientos de información específicos que según la metodología 5QS y el modelo de gestión del mantenimiento son fundamentales en el diseño del proceso de gestión del mantenimiento. Esta metodología se dividió en las dos etapas que se describen a continuación.

Etapas I: Diseñar el Sistema pertinente

Primeramente, se elaboró un mapa de la realidad del proceso de gestión de mantenimiento, considerando la lógica del modelo de “caja negra” para representar el proceso, sus entradas y salidas, siguiendo el enfoque a procesos como lo sugiere la versión más reciente de la norma ISO-9001 (2015). Una vez mapeada la realidad del proceso, se describió el proceso de manera idealizada, partiendo de su definición raíz que describe los Clientes del sistema, Actores, actividades de Transformación, dueño (*Owner*), propósito (*Weltanschauung*), y restricciones del Entorno,

Es decir, aplicando la técnica CATOWE. Posteriormente se elaboró el modelo conceptual representando el proceso idealizado de manera esquemática, utilizando de referencia la filosofía del PHVA.

Etapas II: Desarrollar sistema de apoyo a la implementación del proceso rediseñado

Una vez ha construido el modelo conceptual, se identificaron los cambios que se requerían implementar en la realidad para acercarlo al ideal establecido en dicho modelo, y se identificaron necesidades de sistemas de información de apoyo a la gestión del proceso. Estos sistemas se diseñaron en hojas de cálculo de Excel, en conjunto con un lenguaje de programación Visual Basic que se incluye en el programa, que permitieran la captura y procesamiento de información requerida para la toma de mejores decisiones, de acuerdo a lo establecido por la literatura. Por último, se documentó el sistema de ayuda desarrollado en un manual para facilitarle al usuario su implementación como personal involucrado a dos ingenieros y cuatro operadores: mecánico, tornero, soldador y el operador del camión orquesta. Los ingenieros son los encargados de programar y reprogramar las actividades de mantenimiento para cada maquinaria y comunicar a los operadores sobre dichas actividades; enviar al mecánico a realizar inspección técnica; contactar a proveedores; hacer solicitud de requerimiento de material y de compra, así como documentar las actividades realizadas.

Después de haber mapeado el proceso, se describió el proceso idealizado, construyendo el siguiente enunciado de definición raíz:

“Sistema de gestión basado en el registro de información de las actividades de mantenimiento, que permita la planeación de los servicios preventivos, programando las actividades que se realizarán en el taller, administrado por el ingeniero de mantenimiento y que podrá utilizarse para la identificación de las fallas históricas de la maquinaria y posteriormente para determinar las necesidades mínimas de materiales en el almacén, lo cual permitirá agilizar las actividades e incrementar la disponibilidad de la maquinaria para el área de operaciones, considerando las restricciones actuales de la organización, tales como las habilidades del encargado del taller y las condiciones de la maquinaria de conservación.”

Partiendo de esta idealización del proceso, la figura 2 muestra el modelo conceptual que representa las actividades de planear, hacer, verificar y actuar, que asegura un enfoque de procesos y mejora continua.

En el modelo conceptual de la figura 2 inicia con actividades de planeación (color verde), al determinar los indicadores de desempeño clave, considerando las metas en las cuales está interesada en alcanzar la dirección. A su vez, se deberá evaluar la criticidad de la maquinaria y sus refacciones haciendo un análisis de modo y efecto de falla para determinar las necesidades materiales. Posteriormente se hará la programación diaria del mantenimiento basándose en la frecuencia de falla de la maquinaria y en los requerimientos materiales necesarios.

Una vez realizadas las actividades de planeación, el proceso deberá implementarse (color azul) al realizar la ejecución del programa de mantenimiento para obtener los resultados, y hacer el registro de averías detectadas.

A continuación, se realizará verificación (color rosa) con la comparación del estado de indicadores vs metas planeadas para identificar su grado de cumplimiento. De la misma manera, se realizará la evaluación de la efectividad del mantenimiento al comparar las metas cumplidas contra las no cumplidas y detectar las restricciones que lo impidieron. Luego se hará el análisis de averías para determinar los posibles factores que las originaron (causas).

En la siguiente fase de actuar (amarillo), se deberán realizar actividades no sólo para implementar medidas para eliminar causas de averías, sino para mejorar el desempeño (como 5 S's y mantenimiento autónomo), cerrando así el ciclo de la mejora continua.

Dado que el proceso descrito anteriormente es idealizado, se definieron los cambios que se requieren implementar en la realidad para acercarlo al modelo ideal establecido, y se desarrolló el sistema de ayuda para facilitar su implementación. En la **Error!** **No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el menú principal del sistema desarrollado.

Este es un sistema de información que genera una base de datos de mantenimiento con la que se cuenta actualmente en el DR objeto de estudio, que permitirá que la información sea transparente y pueda ser utilizada para la aplicación de herramientas de control, lo que contribuirá a la mejora de la gestión del mantenimiento.

Al ejecutar el sistema de ayuda para la gestión de mantenimiento de maquinaria y vehículos aparecerá la hoja de Excel de inicio (ver figura 3) que contiene botones para acceder a cada una de las opciones que ofrece el sistema de información. A continuación, se describen cada una de ellas.

Calendario. En un calendario, se marcan los días no laborables y se puede modificar el año según el ciclo agrícola correspondiente, teniendo al final una tabla resumen de los registros, donde se encuentran los meses, días no laborables, días hábiles, horas no trabajadas, horas mensuales y renta de la maquinaria (\$/hr) que es el precio en la que ese mes la maquinaria trabajó.

Horas reales. Tiene la finalidad de registrar las horas reales que se trabajan en los días cuyo horario de trabajo es diferente a ocho horas, ya sea por una fecha en especial o cualquier otro evento que altere la carga de trabajo. Al registrar las fechas se verá impactado en la hoja de “Calendario” completándose automáticamente la tabla de Resumen.

Llenar las hojas de “Calendario” y “Horas reales” contribuye a que la medición de la eficiencia y el ocio que se generan en el mes se base en las horas que realmente se destinaron a trabajar.

Catálogo de activos. Se registra la maquinaria y vehículo que se vaya adquiriendo para el Ciclo Agrícola del año correspondiente. Para ello se requiere de la siguiente información:

1. La fecha de la compra de la maquinaria o vehículo
2. El SRL, que es una clave única para la maquinaria o vehículo
3. El departamento al cual pertenece.
4. El tipo de activo que es (unidad, excavadora, tractor, etc.)
5. Su marca/modelo
6. El responsable
7. El número de serie

8. El número de placa para el caso de las unidades
9. El kilometraje inicial que tenía al ser adquirido
10. La prioridad que tiene cada maquinaria y vehículo.
11. Y el tipo de mantenimiento preventivo que se le dará (km o en hr)

Refacciones. Se hace el registro de los materiales y refacciones conforme se van requiriendo para su control. Para ello es necesaria la siguiente información:

1. El número de requisición
2. La fecha de requisición
3. El SRL de la maquinaria que se le comprará refacción
4. El tipo de activo (tractor, unidad, etc.)
5. La descripción de la refacción
6. El estado (adquirida, pendiente o cancelada)
7. El proveedor
8. La fecha de adquisición
9. El precio unitario
10. La cantidad y el IVA

Fallas. Redirige a la hoja “Fallas”, en la cual se lleva el control de las descomposturas que aparecen por imprevistos. Para ello se ocupa de la siguiente información:

1. La fecha de aparición
2. El SRL de la maquinaria o vehículo en el cual se presentó la falla

3. El tipo de activo (excavadora, unidad, tractor, etc.)
4. Descripción de la falla
5. Tiempo de reparación (horas o días)
6. El tipo de falla (funcional o técnica)
7. La acción correctiva
8. El estado (reparado, pendiente o fuera de operación)
9. La fecha de reparación
10. Y su prioridad (alta, media o baja)

Reporte de operación. Se registran los datos correspondientes a todos los reportes de operación que se tienen diariamente de las diferentes máquinas y vehículos, donde se calculará automáticamente, el ocio total y las horas totales de trabajo. Para ello debe introducirse la siguiente información:

1. La fecha
2. El tipo de maquinaria (unidad, tractor, excavadora, etc.)
3. Las horas ociosas (hora inicio y hora fin)
4. La causa de ese ocio (lluvia, falla, falta de camino, etc.)
5. El horómetro (hora inicial y hora final)
6. El tránsito (camabaja o propio)
7. La carga de diésel en litros
8. Y observaciones

Mantenimiento preventivo. Se introduce al sistema la información de los servicios preventivos que se dan a la maquinaria y vehículos, y se hace la programación de las fechas futuras en las que se repetirá el servicio. Para ello se ocupa de la siguiente información:

1. El SRL de la maquinaria o vehículo que se le dará mantenimiento preventivo
2. El departamento
3. El tipo de activo (tractor, unidad, etc.)
4. Frecuencia (Día)
5. Fecha de ultimo mantenimiento
6. Fecha del servicio preventivo
7. Tipo de servicio
8. Duración (horas)
9. Kilometraje Horómetro
10. Descripción del mantenimiento preventivo

Programa de mantenimiento preventivo km. Se trata de un diagrama de Gantt, en el cual se colorean las fechas en las que se llevan a cabo los servicios preventivos a los vehículos cuyas fechas de mantenimiento se determinan de acuerdo a su kilometraje.

Programa de mantenimiento preventivo hr. De igual forma, se trata de un diagrama de Gantt, donde se colorean las fechas en las que se llevan a cabo los servicios preventivos a la maquinaria cuyas fechas de mantenimiento se determinan de acuerdo a su horómetro.

Indicadores. Se muestran las medidas de desempeño tanto de eficiencia como ocio y costos, los cuales se calculan automáticamente a través de los registros que se hacen continuamente. El propósito de esta hoja es el de ilustrar de manera gráfica el desempeño de la maquinaria y vehículos, es decir, se utiliza mayormente como consulta y como medio para elaborar reportes del desempeño.

Los resultados de la tabla se calculan automáticamente al llenar los registros anteriores y de igual forma las gráficas del desempeño se elaboran automáticamente.

Por último, para asegurar en mayor medida la transferencia del conocimiento sobre las funciones del sistema de ayuda desarrollado, y fomentar la capacitación sobre el mismo a otros miembros del equipo de trabajo del área de maquinaria y taller, se elaboró un manual de usuario que muestra las funciones del sistema, además de sus restricciones y consideraciones de uso, de tal manera que la responsabilidad del registro de información y uso general del sistema no recaiga en una sola persona, sino que sea una responsabilidad transferible en caso de que la necesidad surgiere.

Además, como lo menciona Cárcel-Carrasco (2014), transmitir conocimiento de forma formal y sistemática se logra a través de la experiencia y la participación, por lo cual se consideró necesario el uso de un formato de manual con fines prácticos.

Como puede observarse en, el manual consta de tres secciones: introducción, objetivo y manual de usuario, siendo esta última donde se explican a detalle las funcionalidades del sistema de ayuda, dividiéndose en 11 subsecciones, una por cada hoja o pestaña del libro Excel.

El manual de usuario detalla el funcionamiento del sistema de información y sirve como consulta y capacitación para el personal que deberá implementar este sistema de ayuda en el DR objeto de estudio, específicamente en el área de maquinaria y taller, con lo cual se espera una mejora en la eficiencia de la gestión, reduciendo tiempos de captura de datos y facilitando su interpretación, ya que permite, además de las funciones básicas de registro de operación y fallas, la programación de las horas reales de trabajo, la verificación del estado de indicadores de eficiencia y costo de manera visual y la programación de servicios preventivos.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo recibido para la publicación de resultados de esta investigación que se financió con recursos PFCE 2016 y PROFAPICA 2017.

De igual manera se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y al Instituto Mexicano del transporte (IMT) por el apoyo otorgado a través del Laboratorio Nacional Sistemas de Transporte y Logística (SiT-LOG Lab) Sede ITSON para el desarrollo del proyecto.

Conclusiones

El sistema de ayuda resultante cumple en gran medida con los objetivos planteados, en primer lugar, por poder realizar en conjunto todas las funciones de registro que originalmente se llevaban a cabo en el área de maquinaria y taller con significativas mejoras, tales como:

1. La posibilidad de planear las horas efectivas de trabajo de manera automatizada.

2. Una nueva interfaz usuario – sistema para el registro, lo cual además de hacerlo más visual lo hace más rápido y sencillo.
3. Se incluyeron además señales de “alarma” en códigos de colores para hacer más notorios los pendientes de reparación.
4. Cálculo de indicadores de eficiencia y costo de manera dinámica y transparente.
5. Posibilidad de calcular las fechas próximas de los servicios preventivos durante el registro de los mismos.

Además, la integración de los formatos de registro en un solo libro de Excel agiliza tanto la búsqueda de información como el tiempo de registro de datos y de interacción con el sistema. Un punto que se considera importante mencionar, es que, si bien se utilizaron como base modelos y metodologías sobre el mantenimiento centrado en confiabilidad y otras herramientas de criticidad y modos de falla, estos no se incluyeron de manera prioritaria en el sistema de ayuda puesto que se consideró que requieren un estudio más completo que tomaría más tiempo y recursos. Sin embargo, el sistema propuesto captura la información necesaria para realizar dichos estudios y es lo suficientemente flexible como para permitir que se realicen utilizando el mismo formato.

Recomendaciones

Se sugiere aplicar la metodología de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), una metodología simple, que de forma clara y concisa permite entender la forma en la que opera un sistema, pero sobre todo la forma en la que falla, ya que, el sistema propuesto captura la información necesaria para realizar dicha metodología.

Y así, contar con más indicadores de mantenimiento, que ayuden a visualizar la brecha entre lo alcanzado y lo deseado. Algunos de estos indicadores podrían ser tiempo promedio entre fallas, tiempo promedio para reparaciones, disponibilidad de los equipos, entre otros.

Referencias

Arellano-González, A., Carballo-Mendivil, B., & Ríos-Vázquez, N. J. (2017). *Análisis y diseño de procesos. Una metodología con enfoque de madurez organizacional*. México: Pearson.

Cárcel-Carrasco, F. J. (2014). El mantenimiento industrial y el ciclo de gestión del conocimiento. *3C Empresa*, 3 (1), 16-29.

Checkland, P., & Scholes, J. (1994). *La Metodología de los Sistemas Suaves de Acción*. Mexico: Limusa.

Comisión Nacional del Agua - CONAGUA. (2014). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego*. México: CONAGUA.

Comisión Nacional del Agua - CONAGUA. (2016). *Atlas del Agua en México*. México: CONAGUA.

Comisión Nacional del Agua - CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México, edición 2016*. México: CONAGUA.

Comisión Nacional del Agua; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Estadísticas del Agua en México, edición 2016*. Cd. de México. Retrieved 12 de Febrero de 2017

García-Monsalve, G., González-S., H., & Cortés-M., E. (2009). Metodología de mantenimiento con posible aplicación en el sector agroindustrial. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 4 (2), 137-150.

Hernández-Gómez, A., Escobar-Toledo, C., Larios-Prado, J. M., & Noriega-Morales, S. (2015). Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total en plantas de la industria maquiladora para la exportación en Ciudad Juárez: una solución factorial. *Contaduría y Administración*, 60 (S1), 82-106.

Hernández, P. L., Carro, M., Montes de Oca, J., & Fernández, S. J. (2008). Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico-práctico. *Ingeniería Energética*, XXIX (2), 14-25.

International Organization for Standardization - ISO. (2015). *Norma Internacional ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos*. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization.

Lomelí-Villanueva, J. R., & Álvarez-González, N. (2010). Control de Maleza en Distritos de Riego con Equipos Ligeros. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 63 (2), 5661-5667.

Ortiz-Useche, A., Rodríguez-Monroy, C., & Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia*, 18 (61), 86-104.

Shkiliova, L., & Fernandez Sanchez, M. (2011). Sistemas de Mantenimiento Técnico y Reparaciones y su aplicación en la Agricultura. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20 (1), 72-77.

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 21 (1), 125-138.