

Gestión de la maquinaria de construcción

Rómel G. Solís-Carcano¹, J. Nicolás Zaragoza-Grifé & J. Antonio González-Fajardo

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Avenida de industrias no contaminantes y periférico norte s/n. Mérida, Yucatán, México.

Fecha de recepción: 31 de mayo de 2019 - Fecha de aceptación: 2 de septiembre de 2019

Resumen

La maquinaria de construcción hace factible la ejecución de tareas que implican trabajo mecánico de gran magnitud, lo cual es muy común en proyectos grandes y/o complejos. El objetivo del presente escrito es proporcionar una base del conocimiento que guíe la gestión de la maquinaria de construcción. La adquisición de la maquinaria es una decisión de carácter financiero, que las empresas deben tomar solo cuando les proporcione una rentabilidad aceptable para el nivel de riesgo del capital. La gestión de la maquinaria utilizada en los proyectos debe partir de una buena planeación de su uso, debido a que el costo horario de estos activos es relativamente alto; el control de los consumibles es también de suma importancia para mantener el costo horario de la maquinaria en los niveles presupuestados. Se concluye que es importante que la empresa constructora haga acopio de todos los datos que se generen durante la ejecución de los proyectos sobre los rendimientos, los costos y las condiciones en las se utiliza la maquinaria para que, puestos en contexto, generen conocimientos aprovechables.

Palabras clave: Construcción, maquinaria, gestión, depreciación, mantenimiento.

Construction Machinery Management

Abstract

The construction equipment and machinery make feasible execution of tasks that involve large-scale mechanical work, which is very common in huge and/or complex projects. The main purpose of this manuscript is to provide a knowledge base that guides the acquisition, use, maintenance and replacement of construction machinery; as well as all the management processes that involve this kind of resources during projects execution. The acquisition of construction equipment and machinery is a financial nature decision, which companies must take only when it provides acceptable profitability due to the risk level for the capital that will be invested on it. The construction machinery management conducted in the projects must start from a good planning of its use, because hourly cost of these assets could be relatively high; the consumables controls are also very important actions to maintain the hourly costs of these assets at the budgeted cost levels. It is concluded that it is important that the construction company collects all productivity data generated during the projects execution, the costs and conditions in which these equipment's are used, so they generate useful knowledge.

¹tulich@correo.uady.mx

Key words: Construction, machinery, management, depreciation, maintenance.

Antecedentes

El ser humano desde que se inició en la actividad de construir empezó a utilizar paulatinamente las máquinas simples, para magnificar sus fuerzas. Las primeras máquinas utilizadas en la construcción fueron la palanca, el plano inclinado y la cuña, para mover, elevar y romper piedras, respectivamente; y posteriormente, cuando se dispuso de la rueda, la polea para elevar los materiales de una manera más eficiente (Construction Knowledge, 2018).

A finales del siglo XVIII, con la aplicación práctica y uso generalizado de la máquina de vapor, se produjo la Revolución Industrial, la cual provocó una gran transformación tecnológica, social y económica. Este movimiento histórico dio lugar a que las máquinas reemplazaran en una parte significativa el trabajo humano; e hizo posible, a partir de la segunda parte del siglo XIX, la ejecución de las grandes obras de ingeniería de la época moderna, como el canal de Suez (1869), la torre *Eiffel* (1889) y los grandes puentes, presas y edificios (Casado, 2009).

En la actualidad difícilmente se prescinde de las máquinas para realizar la mayoría de las tareas propias de la industria de la construcción, tales como: elevar objetos pesados y/o de gran volumen, excavar en suelos rocosos o saturados, formar terraplenes, tender carpetas asfálticas, demoler elementos de concreto armado, cortar y soldar metales, etc. (Yepes & Martí, 2017). A las máquinas y equipos utilizados en la construcción, en este escrito se les nombrará en adelante, en forma convencional, como la maquinaria.

El objetivo del presente artículo es explicar, interpretar y hacer accesible el conocimiento, que es necesario para hacer la gestión de la

maquinaria en una empresa constructora. El trabajo está organizado presentando primero las implicaciones financieras y los conceptos de depreciación y gestión del riesgo; posteriormente se presentan los conceptos sobre la planeación de uso, la asignación, la operación y el mantenimiento de la maquinaria; y finalmente se presenta la forma de administrar el departamento de maquinaria en una empresa constructora.

Inversión

Para que una empresa adquiera una maquinaria requiere invertir una cantidad significativa de recursos financieros. En cualquier tipo de inversión se involucran tres parámetros: el capital invertido, el riesgo asociado y la rentabilidad deseada; estos dos últimos parámetros se encuentran directamente relacionados, es decir a mayor riesgo, la rentabilidad de la inversión debería ser mayor.

De tal manera que cuando los accionistas de una empresa deciden convertir una parte de sus activos líquidos en un activo fijo, como es una maquinaria, deben de haber concluido mediante una evaluación financiera que se tendrá una adecuada rentabilidad, acorde con el nivel de riesgo que afrontará. Adicionalmente deben de haber analizado que en ese momento no podrían obtener una mejor rentabilidad invirtiendo ese capital en otro negocio (Rodríguez, 2010).

Cuando la empresa carece de suficiente liquidez para invertir en la compra de una maquinaria puede optar por hacer un uso temporal de ella mediante un contrato de arrendamiento financiero. Esta opción le permite sumar un costo financiero a sus costos de producción y operación, lo cual dará por resultado la disminución de su nivel de utilidades y, por ende, de los impuestos a

pagar. Al final del plazo contratado del arrendamiento, la empresa puede optar por adquirir la maquinaria en forma definitiva, a un precio que corresponde a su valor residual (Meza, 2014).

Depreciación

Toda maquinaria pierde su valor con el tiempo. Una de las razones es que la mayoría de sus componentes se fabrican con aleaciones de acero que se encuentran en condición inestable, con tendencia natural a corroerse. De forma similar, los componentes a base de neopreno como conectores, válvulas, mangueras, empaques y otros, tienden a resecarse y a agrietarse con el paso del tiempo. Por lo que la maquinaria a partir de su fabricación comienza su proceso de deterioro natural, al que se suma el desgaste producido por el uso.

De acuerdo con las prácticas contables, las empresas requieren periódicamente generar su balance general, estado financiero en el que se compara el valor de sus activos con el de sus pasivos. La maquinaria forma parte de sus activos, y su precio en este balance debe corresponder siempre a su valor actualizado; debido a lo anterior las empresas requieren calcular periódicamente la depreciación de la maquinaria (Petronijevic *et al.*, 2011).

El valor de arranque a partir del cual se calcula la depreciación (D) de una maquinaria de construcción resulta de la resta de su valor de adquisición (Va) menos el valor de los accesorios (Pa) que son suministrados junto con ella. Este descuento se realiza debido a que los accesorios son contabilizados como

consumibles; algunos ejemplos de estos accesorios son: llantas, zapatas de las orugas, *rippers*, martillo hidráulico, etc. Este valor de arranque de la maquinaria se conoce como valor de adquisición a depreciar (Vm); es importante resaltar que en cada momento que se calcule la D se debe utilizar el Vm calculado inicialmente y no su valor actualizado (RLOPSRM, 2010).

Como parte del cálculo de la D, al Vm se le debe restar el valor que se estima tendrá la maquinaria cuando acabe su vida útil; éste se conoce como valor de rescate (Vr) y se puede expresar como un porcentaje (r) del Vm.

La D, también, depende de la vida económica útil de la maquinaria (Ve), la cual se define como el lapso en el cual ésta puede ser utilizada. En términos generales, la Ve depende del tiempo de caducidad de sus componentes más importantes.

El Ve se puede calcular como el producto de los años de la vida esperada (Av) para la maquinaria por el número de horas efectivas anuales de uso (Hea) [RLOPSRM, 2010]. El caso óptimo sería que la maquinaria trabajase jornadas completas durante todos los días hábiles (salvo los tiempos dedicados a revisión, mantenimiento y traslado), sin embargo es difícil que esto se dé; los valores típicos de Hea fluctúan en un rango de 1,500 y 2,500 horas por año.

La D de la maquinaria se considera constante en el tiempo y de acuerdo con lo conceptos antes explicados se calcula con la Ecuación 1:

$$D = \frac{V_m - V_r}{V_e} = \frac{(V_a - P_a) - (V_a - P_a)r}{A_v * H_e a} = \frac{(V_a - P_a)(1 - r)}{A_v * H_e a} \quad (1)$$

Por ejemplo, considérese un cargador frontal con un valor de adquisición de \$2'650,000 y valor de sus accesorios originales de \$46,000,

de tal manera que su Vm resultaría ser de \$2'604,000.

Considérese una r del 10 %, de tal manera que el V_r calculado sería de \$260,400.

Considérese una vida útil esperada de 10 años y un número de horas efectivas anuales de uso

$$D = \frac{V_m - V_r}{V_e} = \frac{\$2'604,000 - \$260,400}{20,000 \text{ h}} = \$117.18 \text{ por hora} \quad (2)$$

Aplicando la D al Hea se tiene una depreciación anual de \$234,360; de tal manera que después de diez años de uso, el valor depreciado de la maquinaria sería \$260,400, que corresponde a su valor de rescate.

Gestión del riesgo

Debido a que la maquinaria de construcción es el resultado de la inversión de una cantidad importante de capital, el riesgo de perderlo se comparte, por lo general, con una empresa aseguradora por medio de la adquisición de una póliza (Bunni, 2003). Los principales riesgos que son amparados en este tipo de seguro son los siguientes: daños durante el transporte, robo total de la unidad, colisión con objetos en movimiento, derrumbe, deslave o alud, temblor o huracán, inundación, explosión, e incendio o rayo (HDI, 2018).

El costo de la póliza de seguro de una maquinaria es una función de su valor y de la siniestralidad. Las primas anuales promedio por asegurar una maquinaria de construcción fluctúan entre un 2 % y un 4 % de su valor. En forma teórica, el costo horario por aseguramiento se calcula como el producto del costo horario promedio de la maquinaria durante su vida útil por un coeficiente actuarial de siniestralidad anual (RLOPSRM, 2010).

Planeación del uso

Para un proyecto de construcción el proceso de gestión de la maquinaria comienza con la definición de un plan de uso, el cual es realizado por el superintendente de la obra. El principal producto entregable de este plan es

de 2,000; de lo anterior resulta una V_e de 20,000 horas. A partir de estos datos, la depreciación horaria resultaría ser la que se muestra en la Ecuación 2:

una matriz de identificación y cuantificación de la maquinaria requerida para cada actividad (Chinchore & Khare, 2014). Cuando la empresa ejecuta con cierta frecuencia proyectos similares, por lo general ya cuenta con una matriz estándar, la cual se revisa para cada nuevo proyecto, con la finalidad de identificar si se requiere de alguna otra maquinaria que no se haya utilizado en construcciones anteriores.

A partir de la identificación de cada una de las maquinarias necesarias, se calcula cuántas se requerirán en la ejecución de cada actividad. Esta cantidad es una función de los rendimientos de cada maquinaria, de los volúmenes de trabajo y del número de ciclos en que se realizará la actividad (Moreno, 2015). Un ciclo de trabajo es el lapso durante el cual una maquinaria (o un conjunto de maquinarias) trabaja en un tramo de una actividad, movilizándose al concluir el tramo al siguiente; la experiencia del superintendente es de suma importancia para establecer el número de ciclos idóneo para realizar cada actividad.

En la Tabla 1 se presenta un ejemplo de la matriz de identificación y cuantificación de la maquinaria requerida para la construcción de una carretera de 10 km, con un derecho de vía de 50 m de ancho. Para mayor claridad de los valores contenidos en la Tabla 1, en la Tabla 2 se ejemplifica el cálculo de la cantidad de tractores necesarios para cada ciclo en la actividad de desmonte. En este ejemplo se han considerado los siguientes datos: rendimiento de la maquinaria de 1.25 ha/d, tiempo

disponible para realizar la actividad de 20 días, y ejecución del trabajo en cuatro ciclos.

Tabla 1.- Ejemplo de una matriz de identificación y cuantificación de la maquinaria a utilizar en un proyecto carretero.

Actividad	Tipo de maquinaria													
	Tractor	Retro excavadora	Cargador Frontal	Track Drill	Camión Volteo	Moto	Pipa de Agua	Plancha Tándem	Finisher	Petrolizadora	Vibro compactador	Compactador	Barredora	Pintarrayas
Desmonte	2													
Despalme	4													
Excavaciones	4	3		2										
Explotación de banco	1		1	2										
Acarreos de material			2		5									
Formación de terraplenes	1					3	3	2						
Formación de capa base						3	3			2				
Carpeta asfáltica					2				2	1		1	1	
Señalización con pintura														1

Tabla 2.- Ejemplo de determinación de la cantidad de tractores necesarios para la actividad de desmonte de terreno.

Dato	Cálculo	Resultado
Área total	10 km x 50 m	50 ha
Días disponibles por ciclo	20 d/4 ciclos	5 d
Área por ciclo	50 ha/4 ciclos	12.5 ha
Ritmo de producción	12.5 ha/5 d	2.5 ha/d
Número de tractores por ciclo	(2.5 ha/día)/(1.25 ha/día)	2 tractores

El siguiente paso en la planeación del uso es la generación de los programas de utilización de cada maquinaria, por medio de la combinación del programa de ejecución del proyecto con la matriz de identificación y cuantificación de la maquinaria (Tabla 1). En la Tabla 3 se presenta como ejemplo el programa de utilización de un tractor, se

puede notar que en cada ciclo se repiten los datos presentados en la Tabla 1; por cuestiones de espacio, se presenta únicamente el programa de los primeros dos ciclos. A partir de los datos contenidos en el último renglón de la Tabla 3 se puede generar fácilmente el histograma de utilización de esta maquinaria.

Tabla 3.- Ejemplo del programa de utilización de un tractor (dos primeros ciclos).

Actividades	Semanas																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Desmonte	2								2								
Despalme		4								4							
Excavaciones			4	4	4						4	4	4				
Explotación de banco			1	1	1	1	1				1	1	1	1	1		
Formación de terraplenes							1	1	1						1	1	1
Número de tractores	2	4	5	5	5	2	2	1	2	4	5	5	5	2	2	1	

Asignación y transporte

Con la anticipación que sea adecuada, el superintendente debe solicitar cada maquinaria que el proyecto requiera al empleado encargado de su gestión, a quien se le nombrará en adelante como el administrador. A ese período de anticipación se le denomina el tiempo de demora de la solicitud (Nahmias, 2006).

Como respuesta a esta solicitud el administrador asignará la maquinaria requerida para que sea utilizada en el proyecto por un lapso determinado. Cuando la demanda y la oferta de la maquinaria están equilibradas se dice que el problema de la asignación está balanceado. El problema se complica cuando la empresa constructora realiza en forma simultánea varios proyectos con necesidades de maquinaria similares. Lo anterior genera un problema típico de la ingeniería de procesos, que consiste en requerir en forma simultánea varios agentes para la realización de varios procesos (Palomo, 2001); lo que puede generar que no toda la demanda pueda ser satisfecha en el momento oportuno, es decir que se generen atrasos en las asignaciones. Cuando este problema se da en plantas productivas que operan fijas se busca solucionar estos problemas por medio de la

optimización combinatoria buscando minimizar los costos (Larrañaga *et al.*, 2003).

Desde la década de los setentas se han venido desarrollando modelos matemáticos que permiten la óptima asignación de maquinaria en proyectos simultáneos. Estos modelos están basados en la programación entera que es un caso especial de la programación lineal (Taha, 1975).

En años recientes se han mejorado estos modelos considerando diferentes escenarios en los que no solamente se toma en cuenta la solución óptima, sino también son consideradas las soluciones sub-óptimas. Un ejemplo de lo anterior se presenta cuando durante la ejecución de un proyecto alguna maquinaria presenta fallas o no se encuentra disponible, de tal manera que la solución óptima no es viable; en este caso, este tipo de modelo considera la siguiente mejor solución sub-óptima la cual no debe afectar significativamente la solución óptima. Relacionado con lo anterior, Galic *et al.* (2016) presentan un modelo basado en escenarios para obtener soluciones de asignación de maquinaria utilizando este enfoque.

De acuerdo con lo anterior, es importante considerar que la visión del administrador

debe ser global, ya que la toma de decisiones de asignación para un proyecto afectará a otros con requerimientos similares que la empresa esté ejecutando simultáneamente; en este caso cada proyecto compite por la utilización de la maquinaria disponible, por lo que es necesario que el administrador establezca criterios que le permitan priorizar las asignaciones (Lin *et al.*, 2015).

Para poder dar respuesta al problema de la asignación de la maquinaria, el administrador tiene que estar familiarizado con las necesidades de cada proyecto, lo que le permitirá conocer cuáles serán requeridas, en qué momento y por cuánto tiempo. Para lo anterior necesita tener a su disposición los resultados de la planeación del uso de la maquinaria de cada proyecto contratado.

El administrador dispone de un conjunto de maquinarias y debe estar enterado en todo momento de cuáles de ellas están disponibles para ser asignadas, dependiendo de su estado, que puede ser: trabajando, en espera, o averiada. Por su parte el superintendente debe informar al administrador con cierta anticipación la fecha en que concluirá el uso de cada maquinaria; así como también hacer de su conocimiento si la maquinaria funciona adecuadamente o si presenta algún tipo de falla o deterioro, para darle el mantenimiento necesario antes de ser asignada a la siguiente obra.

En ocasiones la demanda de la maquinaria no podrá ser satisfecha únicamente con los activos propiedad de la empresa; por lo cual es importante que el administrador conozca la maquinaria que tiene disponibles para rentar en la región. Esta información debe contemplar su ubicación geográfica, con el fin de que el administrador pueda decidir a cuál obra es conveniente asignar las maquinarias de la empresa y cuál, las rentadas. El administrador siempre debe tener en cuenta que el objetivo principal de su departamento

es procurar que la maquinaria de la empresa se utilice el mayor tiempo posible, y de esta manera minimizar sus horas inactivas; y minimizar, también, los sobrecostos asociados a la renta de maquinaria ajena.

A partir de que una maquinaria ha sido asignada a un proyecto se requiere organizar su transporte; el punto de partida puede ser el parque de maquinaria de la empresa, o bien la ubicación del proyecto en el que recientemente ha dejado de ser utilizada. La logística para llevar la maquinaria a las obras conlleva tiempo y costos, por lo que debe ser revisada considerando los principios básicos de la economía del transporte (De Rus *et al.* 2003); se deben analizar las diferentes rutas, los tiempos de tránsito, las características y estados de conservación de los caminos y sus respectivos requerimientos normativos de tránsito.

Para llevar a cabo el transporte se debe prever los permisos que sean necesarios según el tipo de carretera; así como disponer de una escolta de seguridad con unidades piloto, que consisten en camionetas de color amarillo con torretas, ubicadas adelante y detrás de la maquinaria (NOM-040-SCT-2-2012). En algunos casos, también se debe considerar que puede ser necesario hacer trabajos previos, para habilitar o mejorar el camino de acceso que permita llevar la maquinaria hasta el punto de utilización.

Cuando el dispositivo de tracción de la maquinaria fuera a base de llantas, ésta podría transportarse por sus propios medios, siempre que la distancia hasta la obra no sea grande. Si no se da la condición anterior, la maquinaria se debe transportar sobre una plataforma auxiliar de acero sobre ruedas, conocida como *lowboys*, la cual es remolcada por un tracto camión. La empresa debe contar con varias de estas plataformas para evitar que se generen cuellos de botella en el proceso de

transportación; en algunos casos, también, podría optar por rentarlas.

El administrador debe llevar un ordenado registro de las asignaciones de la maquinaria, así como de los costos generados por su transporte, suministro de energéticos, mantenimiento, etc. El conjunto de los costos históricos será una información útil y valiosa para la empresa, para la planeación de los siguientes proyectos.

Operación

La maquinaria de construcción requiere de un operador, y en algunos casos excepcionales de una cuadrilla. El operador de una maquinaria por lo general trabaja ocho horas con la maquinaria (duración máxima de la jornada ordinaria legal de trabajo); sin embargo por cuestiones de ergonomía, el trabajador requiere hacer pausas programadas, ya que la operación ininterrumpida de la maquinaria es una fuente de riesgo laboral (Koningsveld, 2005).

La capacitación y experiencia de los operadores es de suma importancia para hacer un uso óptimo de la maquinaria, hacerla más redituable y durable. Es importante llevar reportes de productividad de la dupla maquinaria-operador, y asociar éstos a los contextos de trabajo; esto es importante para introducir y mantener a la empresa en ciclos de mejora continua, para hacerla más productiva y competitiva.

Los operadores y los trabajadores del taller deben tomar permanentemente cursos de operación y mecánica, para actualizar sus competencias necesarias para manipular correctamente la maquinaria e identificar oportunamente los problemas mecánicos (Glover, 1999).

Si una maquinaria llegase a presentar alguna falla en la obra, el personal del taller debe diagnosticarla y definir cuál es la opción más

viable, la cual puede ser: reparar la máquina en obra (si es una acción relativamente sencilla), repararla en el taller de la empresa (si se cuenta con las herramientas y personal calificado), o repararla en un taller especializado (si el trabajo es complejo). Si el tiempo de reparación es mayor del que se puede mantener el frente de trabajo detenido, se tendría que optar por una maquinaria de reemplazo, analizando las alternativas de asignación disponibles.

Cuando una maquinaria es retirada de una obra, por lo general se tienen dos destinos posibles: ser llevada a otra obra que la está requiriendo, o regresarla al parque de maquinaria de la empresa; como un caso de excepción, también podría permanecer en la obra en reserva para ser transportada, en un lapso breve, a otra obra cercana. Durante el tiempo en el que la maquinaria permanezca en el parque, la empresa tiene la mejor oportunidad para darle mantenimiento preventivo; lo primero que se realiza es su limpieza para evitar un desgaste prematuro en sus partes; y posteriormente, siguiendo el manual técnico del fabricante, se debe engrasar, lubricar y/o reemplazar diversas partes como mangueras, rodillos, pernos y algunas piezas que ya hayan cumplido su número de horas de servicio especificadas (Piqueras, 2015).

Gestión de los consumibles

La maquinaria de construcción consume insumos de diferente índole durante su operación. El más importante desde el punto de vista económico es el recurso energético, debido a que se consume en forma constante y en grandes cantidades; algunos tipos de maquinaria utilizan diésel centrifugado (como motoconformadoras, tractores, cargadores frontales, etc.); otros tipos utilizan gasolina (como revolvedoras, malacates, vehículos de carga, etc.); y otros utilizan corriente eléctrica (como soldadoras, equipos de bombeo, esmeriles, pulidoras, etc.).

La cantidad del energético utilizado por cada maquinaria depende de diversos factores, tales como: la potencia de la planta motriz, el tipo de trabajo, la pendiente del recorrido, el clima, el tipo de suelo, etc. Aun cuando es difícil calcular el consumo del energético usando una función de una sola variable independiente, se han desarrollado algunos modelos simples de operación que calculan la cantidad del energético a consumir en función de la potencia del motor y las horas de uso (Klanfar, 2016).

Cuando la maquinaria es nueva, una forma recomendable para estimar inicialmente su consumo energético es recurrir a los datos contenidos en su ficha técnica. Posteriormente después de operarla por un lapso suficiente, se podrá estimar la cantidad real promedio del energético consumido, y relacionarla con el tipo de trabajo realizado. Para estimar el costo del energético se debe considerar la adquisición, el transporte, el almacenamiento y las maniobras de abastecimiento en la obra. Cuando se utiliza gasolina o diésel, el proceso del abastecimiento del combustible puede hacerse de la siguiente forma:

Transportar el combustible desde un tanque de almacenamiento ubicado en el parque de maquinaria de la empresa hasta el punto de consumo en la obra; para esto será necesario contar en dicho parque con las instalaciones necesarias en condiciones de seguridad. Si la opción anterior no es razonable por la distancia que hay entre el parque y la obra se puede optar por cargar el combustible en un centro de venta que se encuentre más cerca de la obra, o bien establecer un centro de almacenamiento intermedio a una distancia razonable de la obra.

El transporte desde el centro de almacenamiento hasta la obra se puede realizar utilizando un vehículo de carga habilitado con un depósito y un dispositivo

para bombear el combustible a la maquinaria; a estos medios de transporte se les denomina nodrizas. Para consumos mayores también se puede realizar el transporte por medio de un camión pipa, ya sea que descargue directamente en los centros de consumo, o bien en un centro de almacenamiento intermedio.

Por otra parte, para llevar el control del consumo de combustible en la obra se debe llevar para cada maquinaria un registro sistemático. La mayoría de las máquinas cuentan con un contador de horas de trabajo denominado horómetro que permiten conocer cada cuántas horas se realiza el reabastecimiento del combustible, de tal forma que se puede conocer su consumo horario promedio.

Hoy en día la tecnología puede ayudar a contabilizar trabajo efectivo de una máquina, por medio de la medición de su desplazamiento a través de un sistema de posicionamiento global (GPS, sigla en inglés de *Global Positioning System*). De esta manera se puede monitorear el número de horas que la máquina trabajó y la distancia que recorrió, y contrastar estos datos con la cantidad de combustible utilizado; lo anterior permite evaluar si el consumo está dentro del rango aceptable.

El control del consumo de los combustibles puede servir también para la toma de decisiones financieras; ya que un alto consumo es un hecho que se utiliza para decidir si ha llegado el momento de reemplazar a una maquinaria, cuya utilización ha dejado de ser rentable. El alto consumo de combustible podría estar ocasionado porque la maquinaria ya ha rebasado su tiempo de vida útil, o porque su tecnología ya es obsoleta (Moreno, 2015).

Otros consumibles importantes son los lubricantes. Por lo general los motores de la maquinaria de construcción son de grandes

dimensiones, como los de los tractores, cargadores frontales, compactadores, etc. Por lo general el aceite del motor se debe cambiar cada 500 h de trabajo efectivo, o menos si su ficha técnica así lo indica, para propiciar la adecuada durabilidad del motor.

También es importante reemplazar preventivamente los fluidos de los sistemas hidráulicos (dirección, elevadores mecánicos, transmisión, etc.) de acuerdo con la recomendación del fabricante. Adicionalmente al reemplazo programado, algunas veces algún dispositivo de conducción o conexión puede ceder ante la presión ejercida por el fluido, lo que da lugar a su pérdida parcial o total; por lo que se requerirá reemplazar el fluido residual sin importar que todavía tengan vida útil. Otros fluidos consumibles que se deben considerar son los líquidos refrigerantes de los motores (como el anticongelante etilenglicol).

También se deben considerar como consumibles los elementos que conforman los medios de desplazamiento. Para algunos tipos de maquinaria suelen ser las llantas, mientras que para otros suelen ser las orugas; estos elementos suelen tener costos de adquisición elevados y relativamente poca vida útil, ya que se ven sujetos a altos esfuerzos. Durante la operación de la maquinaria estos elementos sufren desgastes, deformaciones o roturas que comprometen el correcto uso de la maquinaria y disminuyen su productividad. Por lo general, los constructores asocian un número de horas efectivas útiles para este tipo de consumibles con base en la experiencia documentada.

Otros consumibles son las partes de la maquinaria denominadas piezas especiales. Estas piezas suelen sufrir desgaste severo y ser costosas; sufren por lo general abrasión, y otros esfuerzos tales como cortante y torsión. Estas piezas y su número dependen de cada tipo de maquinaria, algunos ejemplos son los siguientes: los *rippers* y sus uñas para los tractores; la pica del martillo hidráulico para

las retroexcavadoras; los escarificadores y el perno de sujeción del brazo mecánico para las retroexcavadoras. Cuando se requiera la reposición de estas piezas especiales hay que tomar en cuenta que, por lo general, el tiempo necesario para adquirirlas es considerable, ya que en la mayoría de los casos son fabricadas en los países de origen de la maquinaria. Lo anterior es un riesgo que puede provocar demoras en la obra, por lo que las empresas deben planificar las respuestas a esos percances (Bustos *et al.*, 2006).

Mantenimiento y reemplazo

A lo largo de la vida útil de una maquinaria, la empresa eroga un conjunto de gastos que son necesarios para mantenerla en un buen estado de funcionamiento. Con el correr del tiempo estos gastos se van incrementando debido al deterioro acumulado de sus componentes; la tasa de este incremento es un indicador que permite identificar el momento en que se debe considerar la opción de inhabilitar la maquinaria (Zegarra, 2016).

Cuando la maquinaria es nueva y tiene una motorización de combustión interna el mantenimiento preventivo es relativamente sencillo y hasta cierto punto económico. Algunos de los principales requerimientos son los siguientes: cambios de aceites para motor, transmisión y sistema hidráulico; cambios de refrigerantes, bandas, mangueras y abrazaderas; cambios de bujías, filtros de aceite y de gasolina, limpieza de válvulas, etc.

Cabe mencionar que a la cuenta de mantenimiento no se cargan los costos de los consumibles por operación, tales como combustibles, lubricantes, neumáticos, etc. (los cuales se cargan a los costos de operación); pero sí se cargan los costos de la mano de obra de mecánica, los repuestos, la depreciación de la herramienta y la parte proporcional del costo de inversión del taller.

De forma teórica, el costo horario por mantenimiento (Mn) se suele calcular como una fracción (ko) del costo horario de la depreciación (D) [RLOPSRM, 2010]. Algunas empresas toman el criterio de inhabilitar la maquinaria cuando ko rebasa el valor de 0.60, situación que tal vez signifique que sea requerido el reemplazo de uno o varios componentes altamente costosos, como pueden ser: el motor, la transmisión o el sistema hidráulico, entre otros. Si este fuera el caso, la empresa optaría por dejar de gastar en mantener funcionando la maquinaria y la pondría a la venta, buscando obtener su valor de rescate (Vr).

El mantenimiento de la maquinaria debe ser principalmente de carácter preventivo y debe ser planeado considerando las recomendaciones del fabricante sobre los ciclos de recambio de los diversos consumibles, etc. Cabe señalar que el mantenimiento preventivo y la correcta operación de la maquinaria deben minimizar los daños que provocan la necesidad de acciones de mantenimiento correctivo; los elevados costos asociados a éste y los que se generan cuando es necesario detener la operación de una maquinaria en pleno proceso constructivo hacen que los gastos de mantenimiento preventivo y de capacitación de los operadores sea una inversión redituable para la empresa (Glover, 1999).

Administración del departamento de maquinaria

Las empresas requieren de un lugar para resguardar la maquinaria, para esto cuentan con un parque; y dentro de éste, con un taller para realizar los trabajos de mantenimiento. A partir de este momento, llamaremos a esta área funcional de la empresa como el departamento de maquinaria, el cual tiene a su cargo la gestión de estos activos. En algunos casos las constructoras prefieren constituir otra empresa que se encargue únicamente de esta gestión, lo que les facilita diversificar sus

actividades dedicándose además a la renta de maquinaria, y obtener variadas ventajas fiscales (Alonso, 2015).

Cada maquinaria constituye un centro de costo que agrupa a lo largo del tiempo diferentes cuentas. Existen cuentas fijas asociadas a cada maquinaria (sin importar el proyecto en el que trabaje), tales como: inversión, depreciación, seguros, mantenimiento, etc. También existen cuentas que relacionan a la maquinaria con el proyecto al cual se asignan, como son: los insumos y los sueldos y prestaciones (operador o cuadrilla).

La estructura organizacional típica del departamento de maquinaria consta de tres áreas principales: Almacén, Mantenimiento y Logística, los cuales se describen a continuación:

Almacén.- Esta área gestiona los diversos consumibles relacionados con la maquinaria. Sus tres principales funciones son: Gestión de las refacciones, Gestión de las herramientas y Gestión de las herramientas.

Mantenimiento.- Esta área tiene como objetivo mantener el correcto funcionamiento la maquinaria. Sus tres principales funciones son: Limpieza, Mecánica y Pintura.

Logística.- Esta área tiene a su cargo el transporte de la maquinaria desde del taller a la obra y viceversa, o bien entre obras. Sus tres principales funciones son: Localización de la maquinaria, Transporte de la maquinaria y Asignación de operador a la maquinaria.

Conclusiones

Una correcta gestión de la maquinaria de construcción, basada en una adecuada planeación de su uso y una eficaz asignación debe propiciar que éstas se utilicen el mayor tiempo posible; lo anterior debe reducir los costos horarios y acelerar la recuperación del capital invertido.

El control de los energéticos, el mantenimiento preventivo y la capacitación de los operadores y mecánicos son factores fundamentales para que la empresa alcance algunas de sus metas más importantes como son: tener una buena productividad, que las máquinas estén siempre disponibles para su uso, que éstas tengan una buena durabilidad y que la empresa obtenga las utilidades esperadas en sus proyectos.

Es sumamente importante que la empresa constructora, en forma permanente, haga acopio de todos los datos que se generen de los costos (operación y mantenimiento), los rendimientos y las condiciones en las que se realizan los trabajos, para que puestos en contexto, conforme una base de datos histórica aprovechable para la planeación de sus siguientes proyectos y hacerse más competitiva.

Referencias

Alonso, R. (2015). Por qué interesa crear un mini-holding de empresas. *Emprendedores*. Recuperado el 5 de febrero de 2019 de: <https://www.emprendedores.es/gestion/a55823/como-crear-un-holding-de-empresas-ventajas-fiscales-financieras-imagen/>.

Bunni, N. (2003). *Risk and insurance in construction*. 2nd Edition Routledge, Taylor & Francis Group, (London), 496 pages. <https://doi.org/10.4324/9780203476543>.

Bustos, J., Olmos, R & Solas, A. (2006). Gestión de riesgos operacionales en excavación subterránea. *Revista de Construcción* 5 (1), 11-20. <http://construccioncivil.uc.cl/investigacion/revista-de-la-construccion>.

Casado, I. (2009). La arquitectura de la industrialización. *Contribuciones a las Ciencias, Sociales, UEMED*, Universidad de Málaga. Recuperado el 5 de abril de 2019 de: <http://www.eumed.net/rev/cccss/06/icg9.htm>.

Chinchore, N. & Khare, P. (2014). Planning and selection of heavy construction equipment in civil engineering. *Journal of Engineering Research and Applications*, 4 (1), 29-31. https://www.ijera.com/papers/Vol4_issue12/Part%20-%201/E0412012931.pdf.

Construction Knowledge (2018). Six simple machines. Construction Knowledge.net. Recuperado el 7 de mayo de 2019 de: http://www.constructionknowledge.net/general_technical_knowledge/general_tech_basic_six_simple_machines.php.

De Rus, G., Campos, J. & Nombela, G. (2003). *Economía del transporte*. Antoni Bosch editor (Las Palmas).

Galić, M., Završki, I., & Dolaček-Alduk, Z. (2016). Scenario simulation model for optimized allocation of construction machinery. *Grđevinar*, 68 (2), 105-112. <https://doi.org/10.14256/JCE.1462.2015>.

Glover, R., Long, D., Haas, C. & Alemany, C. (1999). *Return-on-investment (ROI) Analysis of education and training in the construction industry*, Report 6. Center for Construction Industry Studies (Austin).

HDI (2018). Seguro de contratistas y maquinaria pesada móvil, Condiciones generales. HDI Seguros. Recuperado el 3 de mayo de 2019 de: <https://www.hdi.com.mx/wp-content/uploads/2018/03/seguro-de-contratista-y-maquinaria-movil-cgdec1215.pdf>.

Klanfar, M., Korman, T. & Kujundžić, T. (2016). Fuel consumption and engine load factors of equipment in quarrying of crushed Stone. *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*, 23(1), 163-169. DOI: 10.17559/TV-20141027115647.

Koningsveld, E., Dul, Van Rhijn, G. & Vink, P. (2005). Enhancing the impact of ergonomics interventions. *Ergonomics*, 48(5), 559-580. DOI: 10.1080/00140130400029136.

Larranaga, P., Lozano, J. & Mühlenbein, H. (2003). Algoritmos de estimación de distribuciones en problemas de optimización combinatoria. *Inteligencia Artificial: Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 7(19), 149-168. https://www.researchgate.net/publication/220071687_Algoritmos_de_Estimacion_de_Distribuciones_en_Problemas_de_Optimizacion_Combinatoria.

Lin, J., Hung, W. & Kang, S. (2014). Motion planning and coordination for mobile construction machinery. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(6), 1-13. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000408.

Meza, E. (2014). Arrendamiento financiero. *Revista de Investigación de Contabilidad*, 1 (1) 46-50. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_vc/article/view/833.

Moreno, J. (2015). Análisis de rendimiento y costo horario de maquinaria pesada (Tesis). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Nahmias, S. (2006). *Análisis de la producción y las operaciones*. Compañía Editora Continental, (Ciudad de México).

NOM-040-SCT-2-2012 (2012). Norma Oficial Mexicana para el transporte de objetos indivisibles de gran peso y/o volumen, peso y dimensiones de las combinaciones vehiculares y de las grúas industriales y su tránsito por caminos y puentes de jurisdicción federal. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 20 de marzo de 2013.

Palomo, M. (2001). Las ingenierías y la administración de tecnología. *Ingenierías*, 4(12), 9-14. http://ingenierias.uanl.mx/12/pdf/12_Miguel_Palomo_Las_ingenierias.pdf.

Petronijevic, P., Nenad, I., Rakocevic, M. & Arizanovic, D. (2011). Methods of calculating depreciation expenses of construction machinery. *Journal of Applied Engineering Science*, 10 (1) 43-48. Doi:10.5937/jaes10-1664.

Piqueras, V. (2015). Coste, producción y mantenimiento de maquinaria para construcción. *Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia* (Valencia).

RLOPSRM (2010). Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas. Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 13 de julio de 2010.

Rodríguez, E. (2010). La importancia de la evaluación financiera en la toma de decisiones. XV Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración, Octubre de 2010, Ciudad de México. <http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xv/docs/60.pdf>.

Taha, H. (1975). *Integer programming: Theory, Applications and Computations*. 1st Edition Academic Press (Cambridge), 394 pp.

Yepes, V. (2017). *Máquinas, cables y grúas empleados en la construcción*. Editorial de la Universitat Politècnica de València. 210 pp.

Zegarra, M. (2016). Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo*, 19 (1), 25-37. <http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02>.