

15

MODELO DE GESTIÓN DE LA MAQUINARIA EN PROYECTOS VIALES BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN MANAGEMENT.

MACHINERY MANAGEMENT MODEL IN ROAD PROJECTS BASED ON LEAN MANAGEMENT PHILOSOPHY.

Germán D. Rojas-Suárez¹

Camilo Andrés Cuervo Galindo²

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de ingeniería, Tunja

¹ Germán Darío Rojas Suárez

Ingeniero Civil, Magister en Administración, Investigador Grupo de investigación GICA, Facultad de ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja - Colombia. Tel: 3229521259. Correo electrónico: german.rojas@uptc.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0390-6380>

² Camilo Andrés Cuervo Galindo

Ingeniero Civil, Magister en Administración y Dirección de Empresas, Docente investigador Grupo de investigación GICA, Facultad de ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja - Colombia. Tel: 3187882600. Correo electrónico: cuervocamilo@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9525-4649>

RESUMEN

Esta investigación formula un modelo para la gestión de la maquinaria basado en la filosofía Lean Management como estrategia administrativa en proyectos de construcción de vías. Para esto, se valoró la aplicación de la metodología de gestión de pérdidas, posteriormente con un estudio piloto, se diseñó y realizó la simulación del modelo. Los principales resultados son: el diagnóstico de la administración de la maquinaria; las características de la filosofía Lean aplicables a la gestión como un proceso industrializado; diseño del modelo y su aplicación como herramienta de control en el ciclo de la administración para planear, hacer, verificar y actuar. La investigación concluye que el modelo genera mayor eficiencia en la administración de la maquinaria y es una estrategia para mejorar la asertividad en la toma de decisiones en la dirección de proyectos de construcción de vías.

PALABRAS CLAVE: Gestión sin pérdidas; procesos de construcción; productividad; Modelo de gestión.

ABSTRACT

This research formulates a model for the management of machinery based on the Lean Management philosophy as an administrative strategy in road construction projects. For this, the application of the loss management methodology was evaluated, later with a pilot study, the simulation of the model was designed and carried out. The main results are: the diagnosis of the administration of the machinery; the characteristics of the Lean philosophy applicable to management as an industrialized process; design of the model and its application as a control tool in the management cycle to plan, do, verify and act. The research concludes that the model generates greater efficiency in the administration of machinery and is a strategy to improve assertiveness in decision-making in the direction of road construction projects.

KEYWORDS: Lean management; construction process; productivity; management model.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de mayor productividad motiva el desarrollo de innovaciones en casi todos los sectores de la economía. Al respecto, la innovación se clasifica en dos corrientes principales, una se centra en el avance tecnológico y se presenta principalmente en entornos altamente desarrollados; la segunda se enfoca en mejorar la forma de administrar, por lo tanto, puede aplicarse en toda sociedad (Ruelas-Gossi, 2004), incluye cambios en el modelo de negocios y es impulsada por ideas (Porter, 1992). En el sector de la construcción, la innovación ha estado más ligada al desarrollo tecnológico, por ello mantiene técnicas de administración tradicionales, situación que trae como consecuencia la ejecución de procesos ineficientes y baja capacidad de control (Netto et al., 2020). Es una desventaja en la medida que no se propongan metodologías alternativas de gestión de proyectos que encaminen a mejorar su productividad (Issa, 2013). Por tanto, es preciso: contar con herramientas gerenciales que permitan planear y utilizar los recursos de manera eficiente (Drucker, 1999); desarrollar estrategias para obtener los resultados esperados y aumentar la productividad (Acar y Akcay, 2019).

En los proyectos de construcción de infraestructura vial, los trabajos fundamentalmente son definidos por los estudios, a partir de ellos se determinan los recursos y las restricciones necesarias para desarrollarlos, como cantidades de obra, costos y plazos de entrega. Teniendo en cuenta que las cantidades de obra se determinan previamente, se debe diferenciar los recursos, entre aquellos que presentan poca variación (materiales y transporte) y los altamente

gestionables y determinantes, como la maquinaria y mano de obra. Hay varias maneras de optimizar los procesos para mejorar la rentabilidad, pero puede ser difícil comprender la efectividad global de una operación compleja para poder decidir dónde hacer mejoras, sobre todo cuando el proceso involucra múltiples elementos de maquinaria cuya efectividad es afectada entre ellos (Womack y Jones, 2013).

En la literatura, se encuentran diversas investigaciones sobre la gestión de la maquinaria, en particular lo relacionado con el análisis de productividad e indicadores de mantenimiento. Al respecto: Holt y Edwards (2015) muestran la incidencia de diversas variables en la productividad de las excavadoras y los costos asociados; Caterpillar (2005), expone la gestión del mantenimiento como herramienta para resolver problemas y evitarlos; Battikha (2003), establece la incidencia de los problemas de calidad en la generación de sobrecostos y tiempo extra; Zegarra (2016), indica que la correcta organización y flujo de información adecuado permite determinar las acciones más acertadas para evitar y eliminar los problemas.

La maquinaria por ser altamente gestionable y fundamental en la ejecución de los proyectos, un objetivo primordial es minimizar sus costos de operación y optimizar su productividad (Prasanna et al., 2018); es por esto que los gerentes de manufactura y mantenimiento deben diseñar y desarrollar estrategias para mantener en óptimas condiciones la maquinaria y mejorar su eficiencia (Badinger y Gandhinathan, 2008). En la mayoría de proyectos viales, la gestión de la maquinaria se orienta en lograr indicadores de operación y mantenimiento (Anakha y Ramu, 2020), por esta razón, se presentan vacíos en la construcción de indicadores que permitan medir la efectividad de la maquinaria en un contexto más general, que ocasiona falta de asertividad en la toma de decisiones y limita la productividad.

Con respecto a las metodologías de gestión, una de las más importantes y de gran éxito es la fundamentada en la filosofía de gestión de pérdidas (Lean Management que por sus siglas se notará como LM). Esta metodología, surge en sistemas de gestión flexible de producción, especialmente el modelo de sistema just in time (JIT), el cual cambia el objetivo de aumentar la producción por el de reorganizar los sistemas para minimizar las actividades consumidoras de recursos (Cuatrecasas y Torrell, 2010); este modelo, se conoce como producción ajustada que se enfoca especialmente en identificar, reducir y hasta eliminar las pérdidas que se consideran como aquellas actividades que no agregan valor, pero que consumen tiempo, recursos y espacio, generando costos en la producción (Liker, 2006).

Así mismo, Lauri Koskela en 1992 presenta un estudio de los enfoques de producción en la industria de la construcción, allí define los procesos como un sistema compuesto de conversiones y flujos, a diferencia del sistema tradicional en el que solo se consideran los primeros. Denomina conversiones a todas las actividades que transforman los materiales y la información en productos, por lo tanto, son las actividades que agregan valor, mientras que los flujos representan las pérdidas.

El enfoque LM hace énfasis en la gestión de procesos industrializados, particularmente dependientes del funcionamiento de la maquinaria, por lo cual se concibe como un modelo para gestionar la empresa y todos sus procesos más allá de los productivos y operativos (Cuatrecasas y Torrell, 2010). Por otra parte, Womack et al., (2017), presentan al enfoque LM como la filosofía que cambió la forma de gestionar pretendiendo la máxima eficiencia, afirman que se puede implementar en cualquier sector y tamaño de empresa; sugieren que se deben aplicar sus técnicas y estrategias a los problemas más comunes asociados a pérdidas de recursos, como: categorizar el tiempo empleado en cada proceso, identificar las causas que generan las pérdidas, diagnosticar lo que se está haciendo mal y priorizar la información para tomar las decisiones. Los modelos basados en el LM, proporcionan un sistema completo de

gestión de la construcción con respecto a la calidad, el cronograma y los costos (Schimanski et al., 2019).

Con respecto a la eficiencia de la maquinaria en la filosofía LM, se evalúa por medio del indicador denominado efectividad global de los equipos OEE por sus siglas en inglés (Overall Equipment Effectiveness), que corresponde al coeficiente de eficiencia obtenido de la fracción de tiempo que la maquina opera, una vez deducidas las pérdidas derivadas de un funcionamiento con despilfarros, incorrecto, incompleto, y con reprocesos por productos defectuosos; para Abd et al., (2020), representa el porcentaje de efectividad real de la máquina con respecto a lo planeado, cuya diferencia la constituyen las mediciones de productividad por parámetros de disponibilidad, rendimiento y calidad; respecto a su interpretación Badinger et al., (2008), indican que proporciona información sobre la eficiencia en la utilización de los recursos para garantizar los requerimientos del producto.

Por su parte, Bamber et al., (2003) la definen el indicador OEE como una medida total del rendimiento que relaciona la disponibilidad y productividad de los procesos, con la calidad del producto. Así mismo, En-Nhaili et al., (2016), lo presentan como herramienta para determinar y evitar las principales causas de pérdidas, reducir el tiempo muerto no programado, incrementar la productividad del proceso o mejorar la calidad del producto; se reflejará de muchas maneras en la organización, como en la efectividad de la gestión en la maquinaria, la capacidad y desempeño de los empleados, la eficiencia de los sistemas operativos y en los indicadores de cumplimiento de metas (Esa y Yusof, 2016). La metodología de medición de eficiencia general de equipos ayuda a resolver problemas prácticos a través de análisis estadísticos, diagramas de causa - efecto, entre otras herramientas para diagnosticar de problemas.

Con el desarrollo del LM se estableció el sistema para mejorar la OEE, conocido como Mantenimiento Productivo Total (TPM) que consiste en una metodología de trabajo a nivel industrial, se genera en torno al mantenimiento y promueve: la participación de todo el personal de la planta; la eficacia total; la inclusión del sistema total de gestión del mantenimiento, desde su diseño hasta la corrección y prevención; logra mejorar la rentabilidad, eficiencia de la gestión y calidad a través de la búsqueda de cero averías, defectos y accidentes (Ma et al., 2011).

Además, en la investigación realizada por Jain et al., (2014), se expone una revisión de la literatura sobre la prácticas de implementación del TPM adoptadas por varias organizaciones de fabricación manufacturera. De otra parte, Palomino et al., (2019) presentan el TPM como herramienta para reducir significativamente la acumulación excesiva de mantenimiento en la industria de la construcción y reducción del efecto de los factores que reducen la efectividad; Shen (2015), evalúa el tiempo de implementación y los factores de éxito resultantes; a su vez para Jain et al., (2014) es una fuente potencial de ahorro de costos y desarrollo de ventaja competitiva.

De lo anteriormente expuesto, se propone un modelo basado en la aplicación de la filosofía LM para gestionar la maquinaria en un contexto más general y que proporciona una estrategia administrativa para aumentar la efectividad en la maquinaria, actividades y procesos en los proyectos de construcción de vías. Para ello, se realizó un estudio piloto en un proyecto en el departamento de Boyacá-Colombia, donde se estudiaron 3 retroexcavadoras en un periodo de 3 meses. Los resultados comprenden: el diagnóstico del mecanismo para mejorar la gestión de la maquinaria, diseño de estructura y componentes del modelo (flujo de información, determinación de elementos necesarios, recolección y análisis de información, sistema de implementación de mejoras y estrategias de acción). El modelo se fundamenta en determinar las pérdidas a través del indicador OEE; diagnosticar las causas; maximizar la eficiencia de la maquinaria con la implementación del sistema TPM con planes de control; y proporcionar

información a la dirección del proyecto para la toma de decisiones.

METODOLOGÍA

Para el diseño, elaboración y aplicación del modelo se realizaron las siguientes etapas: 1) Determinar la incidencia de los recursos en diferentes tipos de proyectos de construcción; 2) Diagnosticar la gestión de la maquinaria en los proyectos de construcción de vías; 3) Identificar las características y herramientas de la filosofía LM aplicables al modelo; y 4) Diseño del modelo, comprende: 4.1) diseño de la estructura; 4.2) desarrollar etapas (entradas, herramientas y salidas); y 4.3) establecer un ciclo de mejora continua e indicar la implementación como herramienta de control en la administración de los proyectos viales.

RESULTADOS

En primera instancia los resultados constituyen la justificación del desarrollo de la investigación y el modelo propuesto.

Determinación de la incidencia de la maquinaria en proyectos de construcción vial

En la tabla 1, se presentan los resultados de la primera fase del estudio, en esta se muestra el análisis de la incidencia de los componentes en un proyecto de construcción vial, comparado con otros tipos de proyectos de construcción civil.

Tabla 1: Incidencia de los componentes en los costos totales en proyectos de construcción

Componente	Proyectos		
	Reforzamiento estructural (%)	Construcción de cerramiento (%)	Construcción vía (%)
Maquinaria (Muy gestionable)	9,05	13,74	25,54
Mano de obra (Muy gestionable)	28,58	25,32	3,32
Materiales (Baja variación)	62,37	60,94	60,50
Transporte (Baja variación)	0,00	0,00	10,64

De la **Tabla 1** se deduce que, los componentes, materiales y el transporte son estáticos por estar calculados con alto grado de precisión en la planificación; la maquinaria y la mano de obra son altamente variables e indican hacia dónde debe estar enfocada la gestión del proyecto. Al comparar los proyectos respecto a la mano de obra, se infiere que este componente se requiere en mayor medida en el reforzamiento estructural y la construcción de cerramiento; mientras que la maquinaria tiene mayor incidencia en proyectos de construcción de vías. Por esta razón, es importante mejorar el desempeño de la maquinaria para aumentar la productividad en estos proyectos (gestión del recurso más determinante).

Diagnóstico de la gestión de la maquinaria en proyectos viales

Del análisis del estado del arte se concluye que la gestión de la maquinaria se centra en la obtención de resultados de rendimiento y de las estrategias de mantenimiento. Al respecto, no se cuentan con herramientas que permitan determinar la incidencia de los diversos factores y variables que afectan su desempeño, así como para evaluar y medir la relación entre la productividad de los procesos con el rendimiento de la misma.

Características y herramientas de la filosofía LM aplicadas en el modelo

Teniendo en cuenta que el LM está enfocado en la gestión de la maquinaria en procesos industriales, que se constituye en el recurso principal para transformar las materias primas y realizar trabajos, bajo este mismo principio el enfoque se adopta en proyectos de construcción de infraestructura vial y para su implementación se consideran las siguientes etapas;

- 1) Analizar la operatividad de la maquinaria según la investigación de campo que se relaciona en la tabla 2, donde se presenta el estudio de la distribución del tiempo de la máquina, teniendo en cuenta el empleado en el funcionamiento y el asociado a las pérdidas, es decir, por conversiones y flujos;
- 2) Determinar del indicador OEE, que implica analizar las causas que afectan las condiciones de operación y establecer los efectos producidos en los procesos y en las actividades (favorece el diagnóstico causa – raíz); y
- 3) implementar del sistema TPM para determinar indicadores de mantenimiento y operación de la maquinaria, para una mayor producción al enfocarse en facilitar el diagnóstico del rendimiento, la reducción de pérdidas, establecer la incidencia del personal con la efectividad de la maquinaria y constituir un ciclo de mejoramiento continuo.

Tabla 2: Análisis de distribución del tiempo

Tiempo disponible (TD)			
Tiempo de funcionamiento (TF)			Parada planeada (PP)
Tiempo del ciclo de operación (TCO)		Preparación del equipo (PE)	
Tiempo de operación neta (TON)		Parada no planificada (PNP)	Tiempo requerido por mantenimiento
Tiempo de operación utilizable (TOU)		Tiempo perdido por operación (PO)	
Tiempo productivo neto (TPN)	Tiempo perdido por defectos (PD)	Causadas por funcionamiento a baja velocidad con respecto a la velocidad de diseño. También los periodos en	
		Tiempo de paro del proceso por fallos, averías ocasionales o crónicas del equipo. Estas paradas obligadas ocasionan pérdidas de volumen de producción. Con	
		Periodos de paro del proceso por preparación de máquinas o insumos necesarios para su puesta en marcha. Estas paradas obligadas ocasionan pérdidas por reducción del	

	Se compone de las pérdidas derivadas de la producción con calidad inferior a la esperada, es decir, el tiempo para la reconstrucción o reprocesado en los entregables, y las pérdidas durante la puesta en marcha de los procesos, producto de exigencias técnicas del mismo	los cuales la máquina está en espera para poder continuar, y por las paradas cortas causadas por desajustes	la reducción de estas pérdidas se logra aumentar el tiempo operativo del equipo y, por ende, aumentar la disponibilidad	tiempo de disponibilidad del equipo.	
OEE	Calidad (Cal)	Rendimiento (Ren)	Disponibilidad (Dis)	Planeación	

Los cambios de actividad, traslados, esperas, los tiempos de preparación, de paradas no planificadas, perdidas por operación y causadas por defectos en los entregables son considerados como flujos. Los tiempos perdidos por preparación del equipo y de parada no planificada, componen las perdidas por disponibilidad, el tiempo perdido por operación, son los pérdidas por rendimiento y a los tiempos perdidos por defectos se les denomina pérdidas por calidad. El tiempo de producción neto se expresa como el resultado de restar todas las pérdidas (tiempos no contributivos) al tiempo disponible, como se muestra en la ecuación (1).

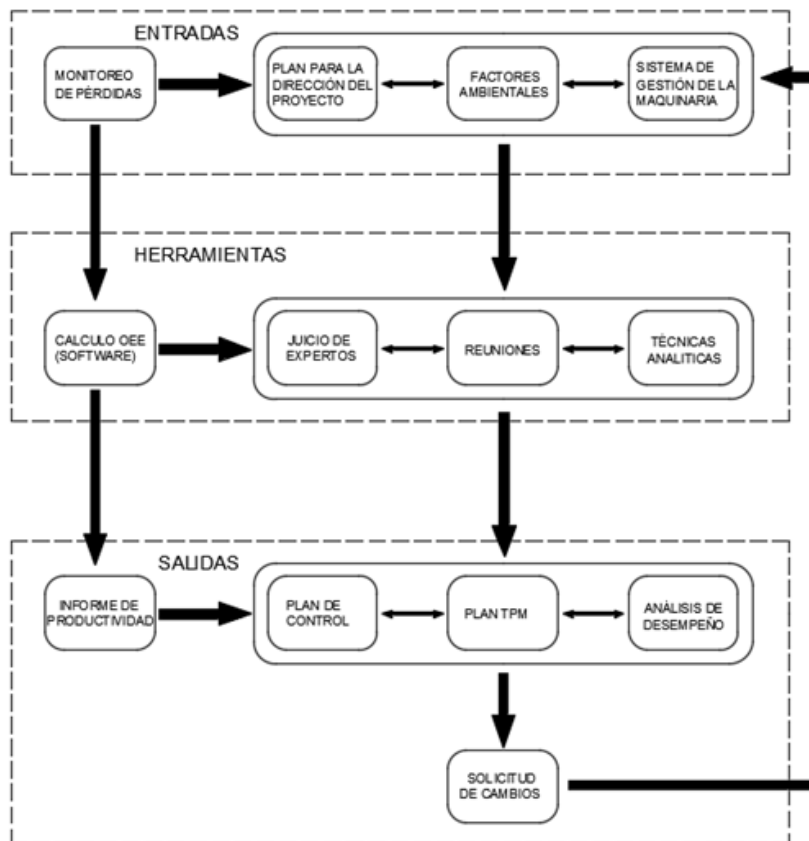
$$\text{"TPN=TD-(PD+PO+PNP+PE+PP)"}$$

(1)

Diseño del modelo

De acuerdo a lo expuesto se formuló el modelo presentado en la fig. 1, cuya estructura corresponde a un flujo de tres etapas: entradas, herramientas y salidas. En cada etapa se presentan los elementos necesarios para su desarrollo e implementación, que se describen a continuación:

Fig. 1: Esquema del modelo



1. Entradas

Componen la primera etapa del modelo, es la información necesaria para diagnosticar la efectividad global de la maquinaria y generar los planes de mejora, se sintetizan en: 1) mediciones y registro de pérdidas, en la **fig. 2**, se presenta el diseño del formato de recolección de datos; 2) plan para la dirección del proyecto, describe cómo se realiza el seguimiento al proyecto. Contiene las líneas bases del cronograma, de costos y alcance. Se requiere para evaluar la incidencia de la productividad de la maquinaria con el desempeño del proyecto; 3) factores ambientales, se requiere conocer: los recursos humanos existentes como operarios, técnicos y responsables de la maquinaria; la gestión del mismo en aspectos como la revisión del desempeño, registro de capacitaciones y los canales de comunicación establecidos en la organización; y 4) gestión de la maquinaria planes, procesos y las mejoras resultado de la implementación del modelo necesarias para realizar las demás iteraciones en el ciclo de mejora continua.

En primera instancia se realizó recolección de la información, el cual se realizó en un proyecto de construcción de vía doble calzada en el departamento de Boyacá. Se desarrollaron actividades de excavación, replanteo y conformación de estructura de pavimento. La maquinaria del estudio son tres retro excavadoras de marca HITACHI. Los datos tomados son mediciones pormenorizadas de los tipos de pérdidas y sus duraciones, en un periodo de 3 meses.

En la **fig. 2**, se presenta el ejemplo de un formato tipo para recolectar la información de pérdidas, elaborado en la fase exploratoria de la investigación,. El encabezado registra la información necesaria para realizar el diagnóstico y la trazabilidad adecuada del modelo. Es necesario consignar la descripción de las actividades a realizar por la máquina, ya que se

requiere determinar las actividades y/o procesos que no corresponden con el desarrollo de la actividad y las características de la maquinaria. ejemplo: Actividad de excavación de 52250 metros cúbicos en material común; diagnóstico realizado a una retroexcavadora marca HITACHI zaxis, con rendimiento de 1000 metros cúbicos por día (8 horas). En el cuerpo del mismo se registran las pérdidas, sus duración, clasificación y descripción. Se debe hacer un registro minucioso, que permita realizar un procesamiento de la información y diagnóstico concreto.

Fig. 2: Formato de recolección de datos

Gestión de la maquinaria					
Monitoreo de actividades - Registro de pérdidas					
Nombre del proyecto:			Fecha:		
Equipo: HITACHI zxs			Nombre del operador:		
Identificación de cuadrilla:			Nombre del evaluador:		
Actividad: Excavación (material?)			Se realiza lista de chequeo: Si NO		
MEDICIÓN				Tipo de pérdida	DESCRIPCIÓN DE LA PERDIDA
Inicio		Fin			
H	Min	H	Min		
7	20	7	25	PE	Revisión
7	20	7	50	PE	Calentamiento
7	50	7	59	PE	Traslado a 420m
7	59	8	10	PO	Reposo (definición de trabajo)
8	20	8	24	PO	Espera por volqueta
8	30	8	33	PO	Traslado a 80 m
9	3	9	5	PO	Traslado a 30m
9	49	9	55	PO	Reposo (charla con ingeniero, definición de niveles)
1	11	10	23	PD	Retrabajo por replanteo
1	23	10	31	PO	Descanso operario
1	31	10	46	PO	Cambio de actividad (esparcir viaje de recebo)
1	46	10	54	PO	Espera (definición de trabajo)
1	54	10	57	PO	Traslado a 80 m
1	57	11	2	PO	Espera por volqueta
1	2	11	33	PNP	Falla mecánica por desajuste de desgarré
1	48	11	54	PD	Retrabajo por replanteo
:	:	:	:	:	:
4	2	4	7	PO	Espera definición de trabajo
4	37	4	55	PO	Traslado a 450 m
4	55				Apagado
Observaciones:					

2. Herramientas y técnicas.

En esta etapa se presentan las herramientas y estrategias necesarias procesar y analizar la información, comprende:

- 1) software para el cálculo de OEE y diagramación de resultados, se utilizó diagramación causa-raíz, diagramas de dispersión y de Pareto;
- 2) juicio de expertos, es fundamental contar con la experiencia de grupos o individuos con capacitación o conocimientos especializados, encargados de realizar la interpretación de la información y determinar los planes de mejora, entre ellos se encuentra el operario, director del proyecto, responsables de la administración de la maquinaria, implementación del modelo y del proyecto;
- 3) técnicas analíticas, se emplean para evaluar la relación de los resultados con las variables del proyecto e identificar las causas de las pérdidas. Las técnicas utilizadas son: análisis causa-raíz, análisis de tendencias, árbol de problemas, métodos de clasificación, entre otras; 4) reuniones, participan los expertos mencionados en este apartado para planificar y desarrollar el modelo.

Salidas

Son el resultado de la iteración del modelo. Entre los resultados más importantes se encuentran:

- 1) diagnóstico del desempeño de la maquinaria, a través del informe de productividad (evaluación OEE);
- 2) plan de control;
- 3) plan TPM;
- 4) análisis de desempeño, es el diagnóstico de la incidencia de la productividad de la maquinaria con el desarrollo del proyecto, se compara el cronograma con la productividad; y 4) solicitud de cambios al actualización al plan de dirección del proyecto y al proceso de gestión de la maquinaria.

Informe de productividad (evaluación OEE)

Es un informe que presenta los resultados y análisis de la productividad del equipo. Contiene: 1) reportes y análisis de producción, 2) análisis por tipos de pérdidas.

Reportes y análisis de producción

El indicador OEE calculado según la fórmula (1), se compone de los siguientes tres coeficientes, definidos en la *tabla 2*:

- 1) coeficiente de disponibilidad, calculado mediante la ecuación (2);
- 2) coeficiente de rendimiento, ecuación (3); y
- 3) coeficiente de calidad, ecuación (4) (Chand y Shirvani, 2000). Como parte del informe de productividad, en la *tabla 3*, se presentan los resultados de la medición y clasificación de pérdidas y el cálculo del indicador OEE.

Tabla 3: Reporte y cálculo de producción

TF (576 horas)			
TON (467 h)		PNP (87h)	PE (22 h)
TOU (360 h)		PO(107 h)	Dis= 81%
TPN (281 h)	PD (79 h)	Ren=77%	
OEE=49%	Cal=78%		

$$OEE=Dis*Ren*Cal=81\%*77\%*78\%=49\% \quad (1)$$

$$Dis=\frac{TON}{TF}=\frac{467h}{576h}=81\% \quad (2)$$

$$Ren=\frac{TOU}{TON}=\frac{360h}{467h}=77\% \quad (3)$$

$$Cal=\frac{TPN}{TOU}=\frac{281h}{360h}=78\% \quad (4)$$

A través de la clasificación mostrada en la tabla 4, se proporciona información para comparar el desempeño de estos proyectos a nivel nacional, y contribuir a evaluar el resultado nacional con estándares de clase mundial.

Tabla 4: clasificación del OEE

OEE (%)	Clasificación	Descripción
< 65	Inaceptable	Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad
65 - 75	Regular	Aceptable sólo si está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad
75 -85	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja
85 - 95	Bueno	Buena. Entra en valores clase mundial. Buena competitividad
>95	Excelente	Valores clase mundial. Excelente competitividad

Fuente: Morales-González et al (2013)

Los resultados presentados en la **fig. 3**, exponen: **1)** Gráfica de la izquierda, variación de la producción de la maquina (Hitachi) a medida que se contabilizan los tipos de pérdidas, desde el tiempo de funcionamiento hasta obtener el tiempo productivo neto; y **2)** la gráfica de la derecha presenta la distribución del tiempo en obra, compuesto de acuerdo a la metodología LM, por el tiempo productivo neto (tiempo de producción real) y los tres grupos de pérdidas, por disponibilidad, operación y defectos.

Fig. 3: Grafica de productividad de la máquina Hitachi Zaxis



La **fig. 4**, expone la afectación a la OEE por los valores porcentuales de los parámetros de disponibilidad, operación y calidad. Para el caso del estudio piloto, el indicador se considera como inaceptable, según la clasificación de la **tabla 4**.

Fig. 4: Grafica de la eficiencia global de la máquina Hitachi Zaxis.



El resumen de clasificación de pérdidas por categorías se presenta en la fig. 5 las pérdidas más frecuentes y significativas encontradas, que por su importancia y recurrencia se priorizan para mitigar en la primera iteración del modelo. A medida que se vayan reduciendo y/o eliminado se van trabajando las demás pérdidas.

Fig. 5: Clasificación de pérdidas



Plan de control

Es el plan para categorizar las pérdidas priorizadas; presenta el análisis de causas y la correspondiente estrategia de solución hasta obtener la progresión de la eficiencia a medida que se implantan las mejoras.

Tabla 5: Plan de control

Gestión de la maquinaria				
Reporte de pérdidas				
Nombre del proyecto:		Fecha:		
Equipo: Retroexcavadora HITACHI Zaxis		Nombre del operador:		
Identificación de cuadrilla:		Nombre del evaluador:		
Actividad: Excavación (¿en qué material?)		Se realiza lista de chequeo:		
		Si		No
Descripción de pérdidas priorizadas		(%)	Análisis Presenta la valoración y causas	Intervención Estrategias para reducir las pérdidas
Disponibilidad	Preparación y ajuste	39	En la preparación y ajuste del equipo, se realizan las actividades de encendido, calentamiento y revisión general. Se presenta un alto porcentaje de fallas	Se requiere: 1) Estandarizar las actividades de preparación y ajustes de los equipos a fin de reducir el tiempo requerido en estas operaciones; 2) implementación de un plan de
	Falla mecánica	22		
	Falla eléctrica	10		
	Cambio de instrumentación	29		
	Total	100	mecánicas y eléctricas, evidenciando que el grandes problemas en el funcionamiento. Las pérdidas por cambio de instrumentación se presentan por falta de un plan de verificación o control	mantenimiento a fin de prevenir averías (plan TPM); 3) Desarrollar listas de chequeo para reducir los cambios de instrumentación y realizar estas actividades en paradas planeadas (plan TPM)
Rendimiento	Paradas cortas	41	Alta frecuencia de paradas cortas en el proceso, causadas por la espera de los vehículos responsables del transporte del material al centro de acopio. La presencia de cambios de actividad, implica movimientos internos grandes, así como, el desplazamiento desde la zona de parqueo al sitio de trabajo y viceversa, este tipo de pérdidas, a su vez, conlleva principalmente a reducir la velocidad de operación. La mala operación corresponde a la disposición	1) se identifica la necesidad de disponer de más vehículos de transporte; 2) planificar los movimientos internos a fin de mantener la maquina el mayor tiempo posible operando; 3) la información permite concluir que existen problemas de planeación para la ejecución de la actividad, por lo tanto, se requiere generar planes de trabajo diario para verificar y controlar con mayor frecuencia el avance de los mismos; 4) Implementar zonas alternas de parqueo en lugares más cercanos al frente de trabajo; 5) desarrollar capacitaciones
	Movimientos internos	24		
	Baja velocidad	22		
	Mala operación	9		
	Otras	3		
	Total	100		

			de la maquinaria para actividades no contempladas dentro del desarrollo de la actividad, como el transporte de equipos e insumos.	y/o charlas para mejorar la comunicación y el flujo de información con los operarios (plan TPM)
Calidad	Trabajo rehecho	44	El trabajo rehecho se presenta debido a problemas en las cotas de entrega (niveles del terreno	Las altas perdidas por trabajo rehecho expone que el proyecto presenta problemas de planeación, se debe: 1)
	Reproceso	44		
	No conformidades	12		

	Otras	0	requeridos); se utilizó demasiado tiempo en perfilar ya que algunas cotas de diseño no se tenían claras, se decidió avanzar en la excavación y luego conformar el terreno con el acabo requerido de entrega. La deducción de pérdidas conlleva de unas a otras, es importante por lo tanto, diferenciarlas inicialmente, ya que el plan de acción depende de la etapa en que estas se presentan y para identificar mejor el diagnostico causa – efecto. Lo anterior permite ser más asertivos en el diseño y aplicación de estrategias.	revisar y mejorar la ejecución de la actividad y el flujo de información; 2) realizar con mayor frecuencia el control de los requerimientos ya que se confía todo el trabajo en la experticia del operador; 3) disponer la información de referencia de cotas de trabajo a menor distancia, con ello se busca orientar con mayor exactitud al operario, se evitan reprocesos y defectos en los entregables, además de subsecuentes velocidades bajas de operación; 4) desarrollar capacitaciones y/o charlas para mejorar la comunicación y el flujo de información con los operarios
	Total	10		

Plan TPM

En la **tabla 7**, se presenta la implementación del plan TPM. Busca mejorar la eficiencia con la que opera la maquinaria y el sistema productivo; describe cómo ejecutar, controlar y mejorar la gestión, ayuda a evaluar la implantación de las estrategias con las que cuenta la organización para administrar la maquinaria y hace parte del desarrollo de las mejoras identificadas en el plan de control de pérdidas.

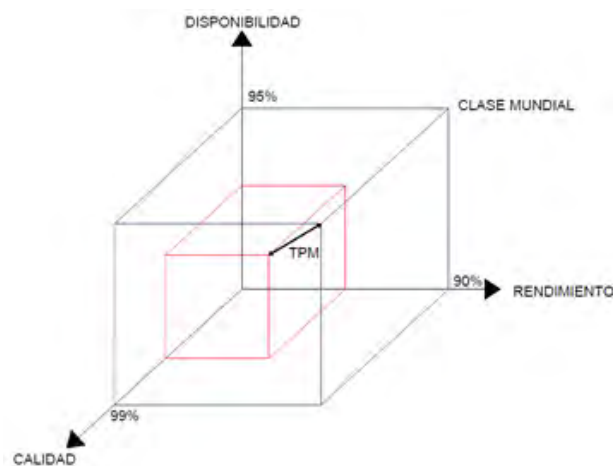
Tabla 6: Implementación del sistema TPM (Adaptada de Cuatrecasas y Torrell, 2010)

<i>Implantación plan TPM</i>	
<i>Etapa</i>	<i>Descripción</i>
Mejorar la efectividad del equipo	Se realiza el análisis de pérdidas, de sus causas y efectos; se organizan grupos de trabajo multidisciplinario y de operarios con el propósito de eliminar las pérdidas y mejorar la tasa OEE. Una vez medidas y evaluadas cuidadosamente, se actuará de forma que se obtengan mejoras significativas
Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo	Involucrar en el mantenimiento diario a los operarios con un programa básico y la formación adecuada. Los operarios de producción participan en las funciones de mantenimiento diarias y en actividades de mejora que evitan el deterioro acelerado
Desarrollar un programa de mantenimiento planificado	Incluye el mantenimiento periódico o parada planificada, el correctivo y el preventivo que puede ser realizado por un departamento de mantenimiento. El personal del mismo debe centrar sus energías en las tareas que requieran su propia experiencia técnica y aprender técnicas más sofisticadas de mantenimiento, al tiempo que coopera con el mantenimiento autónomo
Formación para elevar capacidades de operación y mantenimiento	Para llevar a cabo un mantenimiento eficaz es importante mejorar las habilidades de los recursos humanos. Por ello, en las etapas iniciales de la implementación del TPM, conviene realizar un esfuerzo especial pero muy valioso, en la formación de empleados. Una vez puesto en marcha, se evaluará periódicamente a cada persona para fijar planes de formación para la fase siguiente, y consolidar objetivos futuros más ambiciosos
Gestión temprana de equipos	Provisión de equipos y/o maquinaria de alta fiabilidad y mantenibilidad, a fin de prevenir al máximo el mantenimiento o incluso estén exentos de él. Se requiere actuar desde la obtención de la maquinaria, hasta la operación normal con producción estable de procesos y productos con calidad y cero defectos. Este periodo se conoce como ciclo de vida total, ya que también se puede hablar de una pieza de la maquina o de una parte de la misma. El TPM trata de minimizar el coste económico del ciclo de vida de un sistema empezando en las fases tempranas del desarrollo del mismo: fases de planificación de inversiones en equipos, de diseño, de pruebas o de arranque

<p>Consolidación y elevación de metas</p>	<p>Mantener y mejorar los resultados obtenidos, mediante un programa de mejora continua, que puede basarse en la aplicación del ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar). Como último paso de la implementación de un sistema TPM, se debe mantener las mejoras obtenidas a lo largo de cada una de las etapas anteriores, adoptando una filosofía de mejora continua, revisando los objetivos establecidos y fijando otros más ambiciosos. Hay que cuantificar el progreso alcanzado y darlo a conocer a todos los empleados para que comprendan y valoren las consecuencias de su trabajo</p>
---	--

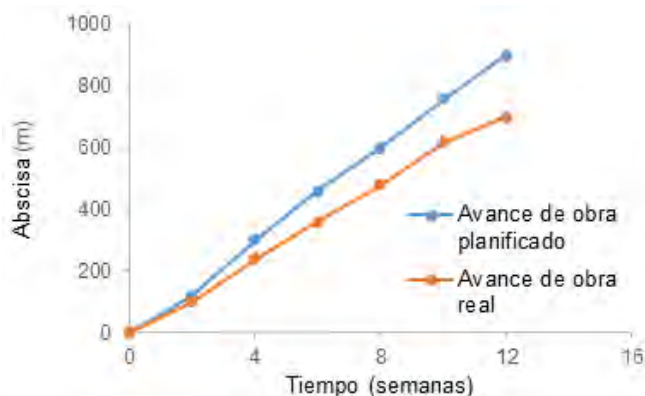
Con respecto al análisis para el caso del estudio se evidencia la necesidad de centrar los esfuerzos en implementar inmediatamente un programa de mantenimiento planificado para corregir las averías mecánicas y evitar los cambios de instrumentación durante el ciclo de operación, es decir, realizar esta actividad en paradas planificadas. Complementariamente para lograr esta estrategia es preciso diseñar jornadas para capacitar y mejorar la comunicación entre operarios y administradores del proyecto. En la fig. 6, exhibe la representación de la implementación, allí se muestra cómo el aumento del indicador OEE se puede obtener a través del sistema TPM.

Fig. 6: Representación del TPM



Análisis de desempeño

Presenta el comparativo entre la planeación y el avance real del proyecto para evaluar la incidencia de la gestión realizada a la maquinaria y las mejoras al desarrollo de las actividades. Puede incluir las categorías de los cambios requeridos, las variaciones del alcance identificadas y sus causas, el impacto de éstas en el cronograma o en el costo, y el pronóstico del desempeño futuro. La **fig. 7**, muestra el comparativo entre el avance de obra en el tiempo de operación con el calculado en la planeación; la implementación del modelo permite reducir la brecha entre el rendimiento planificado y el real. Esta información proporciona una base para tomar decisiones relativas al alcance (desempeño del proyecto en el tiempo, presupuesto y calidad).

Fig. 7: Gráfica control del avance de actividad excavación

El proyecto realiza el seguimiento a través de la medición de indicadores de desempeño de cronograma y costos (SPI y CPI); se obtuvo un retraso de 28% en el cronograma y de 200 metros (correspondientes a 1650 metros cúbicos) en la actividad de excavar 52250 metros cúbicos (tiempo planeado de 418 horas y tiempo empleado de 576 horas) y un OEE de 49% de la retroexcavadora HITACHI Zaxis. El análisis de la incidencia de la dirección del proyecto y deducido a partir del análisis de pérdidas permite concluir: el diagnóstico por disponibilidad manifiesta problemas importantes en el funcionamiento de la máquina por falta de gestión de mantenimiento y obsolescencia del equipo; las pérdidas por rendimiento indican problemas en la planificación de la actividad, en cuanto a la estandarización del proceso y estimación de recursos necesarios; el parámetro de calidad exhibe deficiencias de planificación para comunicar los requerimientos de los entregables, baja capacidad para controlar el cumplimiento de las actividades y pobres aptitudes del operador y equipo guía de topografía.

Para determinar el tiempo necesario en realizar una actividad, y empleado generalmente para estimar el tiempo requerido (tiempo de funcionamiento) para completar una actividad, se utiliza la ecuación (5), para el caso de estudio se expresa como el cociente del volumen a excavar "V" entre el rendimiento esperado "R" de la maquinaria empleada, el cual se determina empleando la ecuación (6), donde las variables "Q" y "K" dependen de la capacidad de la pala (cucharón) de la máquina, la variable "F.V" es el factor de expansión del terreno y son determinadas con exactitud y "T" es el ciclo o tiempo de operación. La variable "E" es el factor de eficiencia de la máquina, depende de las condiciones del trabajo y de la gestión realizada a la maquinaria.

Por lo tanto, se concluye que la diferencia entre el resultado y lo planificado es afectado por el OEE, ya que en el cálculo del rendimiento no se tienen en cuenta los factores que determinan e inciden en el indicador OEE.

$$TF = \frac{V}{R} = \frac{52250m^3}{1000 m^3/día} = 52.3 \text{ días} = 418 \text{ horas} \quad (5)$$

$$R = \frac{3600 * Q * E * K (0.764)}{T * F.V} \quad (6)$$

Cabe resaltar que existen diversas metodologías para calcular el rendimiento, métodos teóricos y experimentales, dependientes de la productividad o eficiencia de la maquinaria. A su vez,

dicha eficiencia es calculada a menudo cualitativamente teniendo en cuenta variables como: las características del terreno, el clima, el manejo de la administración de la máquina, entre otras, a diferencia de estos cálculos el indicador OEE incluye las pérdidas en la operatividad por los parámetros de disponibilidad, rendimiento y calidad, es decir, incluye los efectos causados por el nivel de organización, los problemas asociados a la dirección de las actividades y/o procesos, entre otras; su cálculo es detallado, con mediciones que permiten el diagnóstico preciso de problemas.

El cálculo del tiempo de funcionamiento proporciona una aproximación para estimar la duración de una actividad y el indicador OEE presenta el diagnóstico para obtener el tiempo de producción neta, el cual es el valor de duración real. En otras palabras, la duración de una actividad es igual al tiempo productivo neto más las pérdidas que intervienen. Es un resultado importante de la investigación, ya que propone una herramienta para determinar con mayor aproximación la estimación del tiempo e incluir el indicador OEE para mejorar la planificación progresiva, ya que tiene en cuenta los valores de eficiencia actuales y las estrategias para obtener rendimientos esperados.

DISCUSIÓN

La dirección de proyectos de construcción está enmarcada por el alcance a través de las variables tiempo, costo y calidad. El aumento de la productividad se presenta cuando se incrementa la producción y/o, cuando se reducen las cantidades de recursos; así mismo, para obtener mayor eficiencia se requiere reducir el tiempo y costo manteniendo los estándares de calidad. Por lo tanto y complementariamente a lo expuesto en la primera fase de la investigación, se puede concluir que: el aumento de la productividad en los proyectos viales esta principalmente determinado por la eficiencia de la maquinaria, es decir, realizar gestión al recurso principal es una herramienta para mejorar su desempeño, y estrategia para controlar la dirección de estos proyectos.

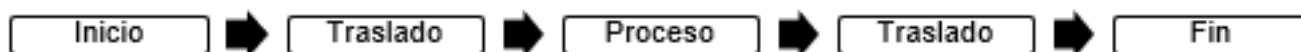
Los sistemas de seguimiento y control en proyectos viales se enfocan en torno a la evaluación de los parámetros base del alcance (tiempo, calidad y costo) en periodos establecidos previamente (periodos de corte). Con el modelo se logra realizar un seguimiento más riguroso y frecuente a fin de mejorar la trazabilidad en el diagnóstico de problemas; hablamos de un seguimiento y control continuo, no discreto como se realiza tradicionalmente.

La administración de la maquinaria pesada en la actualidad se centra en el mantenimiento, la evaluación del OEE permite diagnosticar la eficiencia del mantenimiento realizado a partir de las mediciones de pérdidas por disponibilidad, adicionalmente, con los parámetros de rendimiento y calidad se logra determinar los problemas y el grado de incidencia en el funcionamiento de la maquinaria y la dirección del proyecto, ejemplo de ello son, los problemas asociados a bajas velocidades de operación, causados por baja planificación o pobre flujo de información, deficiencias en el control y seguimiento, sobrecostos generados por deficiencias en la calidad de los entregables y trabajos rehechos, obsolescencia de los equipos, entre otros.

La administración de proyectos de construcción de vías está basada en metodologías tradicionales similar a los proyectos de construcción de edificaciones, a saber, basado en la gestión de la mano de obra (enfoque artesanal, no industrial) y en el logro de metas (producción sin gestión de pérdidas) como en el caso del estudio piloto de esta investigación, por lo tanto, es normal esperar que se presenten valores de OEE muy bajos. Con la clasificación señalada en la **fig. 3**, se puede evaluar una o más líneas de producción, frentes de trabajo o cuadrillas y generar cultura de competitividad.

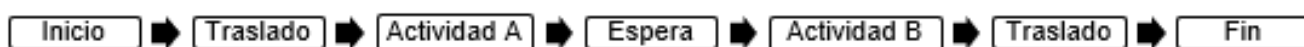
Uno de los principios de la filosofía LM es realizar el diagnóstico detallado de todo un proceso para conocer la mayor cantidad de problemas y factores (presentes o potenciales) causantes de pérdidas, consecuentemente, para evaluar y determinar las oportunidades de mejora más eficientes, facilitar la priorización de estrategias y decidir dónde y cómo desarrollarlas. La **fig. 8**, presenta la noción de los procesos o trabajos realizados por la maquinaria según la mayoría de metodologías tradicionales.

Fig. 8: Proceso productivo en la metodología tradicional



En este esquema es difícil evaluar, diagnosticar, y mejorar los procesos; el modelo propuesto proporciona mayor y más detallada información para describir los procesos como el presentado en la fig.9. En este, la maquinaria desarrolla una actividad, requiere de un traslado, presenta esperas y cambios de actividad. Las actividades representan las conversiones en la producción, mientras que los traslados, esperas y cambios de actividad, representan los flujos dentro de la misma. Es un diseño altamente gestionable, revela información detallada del proceso de determinada actividad, y por consiguiente se logra reducir el nivel de incertidumbre.

Fig. 9: Proceso productivo en la filosofía Lean Management



Basándose en este nuevo enfoque se pueden desarrollar herramientas de planificación para estimar la duración de las actividades, calcular la proyección de recursos, ya que, el rendimiento no solo incide en este cálculo, sino también la eficiencia global de la maquinaria, cuya operación es compleja, sobre todo, por las variables que intervienen y porque los procesos o trabajos involucran una o más máquinas cuya efectividad es afectada entre ellas (Womack y Jones, 2012).

Es necesario realizar futuras investigaciones que permitan evaluar la implementación del modelo, ya que: implica mejoras y cambios en el ciclo administrativo, se puede cohesionar con diferentes formas de gestión y depende de factores culturales, logísticos y del nivel de detalle que se desee alcanzar (Cuatrecasas y Torrell, 2010).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados y lo planteado en la discusión se concluye:

1) la característica principal del modelo, radica en la posibilidad de mejorar la productividad de los proyectos viales, a través de la gestión del recurso más determinante y una metodología enfocada en lograr procesos y resultados altamente eficientes; **2)** los procedimientos utilizados son fáciles de aplicar, se puede cohesionar fácilmente a la gestión del proyecto y ser utilizado para analizar un rango más amplio de variables incidentes en la productividad; **3)** el modelo permite mejorar al determinar los problemas y ser más asertivos en la toma de decisiones; **4)** además de mejorar la productividad de la maquinaria, es una herramienta estratégica de

alto nivel para el seguimiento y control en la administración del proyecto; y **5)** la investigación presenta la posibilidad de desarrollar una metodología más certera para calcular la duración de las actividades realizadas por la maquinaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd Rahman, M.S.; E. Mohamad, y A. A. Abdul Rahman, Enhancement of overall equipment effectiveness (OEE) data by using simulation as decision making tools for line balancing, doi: 10.11591/ijeecs.v18.i2.pp1040-1047, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 18 (2), 1040-1047 (2020).

Acar, Y. H. y C. Akcay, Time-cost optimization model proposal for construction projects with genetic algorithm and fuzzy logic approach, doi: 10.7764/rdlc.18.3.554, Revista de la construcción, 18(3), 554-567 (2019).

Anakha, S. J. y M. Ramu, Conceptual hierarchy in an organization, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85082840290&partnerID=40&md5=a3bcfa26bc178e32be0a94e3c4767b5>, Test Engineering and Management, 82 (1-2), 14408-14412 (2020).

Badinger, A.; R. Gandhinathan y V. N. Gaitonde, A methodology to enhance equipment performance using the OEE measure, doi: 10.1504/EJIE.2008.017690, European Journal of Industrial Engineering, 2 (3), 356-376 (2008).

Badiger, A. S. y R. Gandhinathan, A proposal: Evaluation of OEE and impact of six big losses on equipment earning capacity, doi: 10.1504/IJPMB.2008.017962, International Journal of Process Management and Benchmarking, 2 (3), 234-248 (2008).

Bamber, C.J.; P. Castka; J. M. Sharp y Y. Motara, Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE), doi: 10.1108/13552510310493684, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 9 (3), 223-238 (2003).

Battikha, M. G., Quality management practice in highway construction, doi: 10.1108/02656710310476516, International Journal of Quality & Reliability Management, 20(5), 532-550 (2003).

Caterpillar, I. N. C., Performance Metrics for Mobile Mining Equipment, (1 ed.) USA: Caterpillar. (2005).

Chand, G. y B. Shirvani, Implementation of TPM in cellular manufacture, doi: 10.1016/S0924-0136(00)00407-6, Journal of Materials Processing Technology, 103(1), 149-154 (2000).

Cuatrecasas, L., & Torrell, F., (2010). TPM en un entorno Lean Management, Barcelona, España, Profit.

Drucker, P., La Administración en una Época de Grandes Cambios. Tercera edición. Buenos Aires: Editorial Sudamérica. 1999.

En-Nhaili, A.; A. Meddaoui y D. Bouami, Effectiveness improvement approach basing on oee and lean maintenance tools, doi: 10.1504/IJPMB.2016.075599, International Journal of Process Management and Benchmarking, 6 (2), 147-169 (2016).

Esa, F. y Y. Yusof, Implementación de la eficacia general del equipo (OEE) y una ventaja

- competitiva sostenible: un estudio de caso de SDN de fundición a presión hicom. BHD. (HDSB), Revista ARPN de Ingeniería y Ciencias Aplicadas , 11 (1), 199-203 (2016).
- Holt, G. D. y D. Edwards, Analysis of interrelationships among excavator productivity modifying factors, doi: 10.1108/IJPPM-02-2014-0026, International Journal of Productivity and Performance Management, 64 (6), 853-869 (2015).
- Howell, Gregory. "What is Lean Construction", 1999. Koskela, Laury. "Application of the New Production Philosophy to Construction", 1992.
- Issa, U. H., Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.07.003>, Alexandria Engineering Journal, 52(4), 697-704 (2013).
- Jain, A.; R. Bhatti y H. Singh, Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions International, doi: 10.1108/IJLSS-06-2013-0032, Journal of Lean Six Sigma, 5(3), 293-323 (2014).
- Liker, J., K., (2006). LAS CLAVES DEL ÉXITO DE TOYOTA, Barcelona, España, Gestión 2000.
- Ma, L.; S. Dong,; Y. Gong y G. Yu, Study on application of TPM in small and medium-sized enterprises, doi: 10.1109/MSIE.2011.5707499, 2011 International Conference on Management Science and Industrial Engineering, MSIE 2011, art. no. 5707499, 678-681 (2011).
- Morales-González, Ángel y Rojas-Ramírez, Jorge, y Hernández-Simón, Luis Manuel, y Morales-Varela, Alberto y Rodríguez-Sánchez, Sara V., y Pérez-Rojas, Aurora (2013). Modelación de la cadena de suministro se aplica con el paradigma de manufactura esbelta utilizando simulación. Científica, 17 (3), 133-142. ISSN: 1665-0654. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=614/61436206004>
- Netto, Joaquim Teixeira, Santos, João Alberto Neves dos, Passos Filho, Walter, & Oliveira, Nylvandar Liberato Fernandes de. (2020). Proposta de melhorias na gestão de empresas de construção civil: um estudo de caso internacional. Interações (Campo Grande), 21(3), 499-512. Epub October 26, 2020. <https://doi.org/10.20435/inter.v21i3.2042>
- Palomino-Valles, A.; M. Tokumori-Wong; P. Castro-Rangel; C. Raymundo-Ibañez y F. Dominguez, TPM Maintenance Management Model Focused on Reliability that Enables the Increase of the Availability of Heavy Equipment in the Construction Sector, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 796 (1), art. no. 012008, Banda Aceh, Indonesia, 18-20 de Septiembre (2019).
- PORTER, M. Las Ventajas Competitivas de las Naciones. Buenos Aires: Vergara Editor. 1992.
- Prasanna Kumar, D.; L. A. Satish y S. S. Asadi, Evaluation of machinery management in construction industry – A model study, Retrieved from www.scopus.com, ISSN: 1943023X, Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10(4), 424-429 (2018).
- Ruelas-Gossi, A, Innovar en mercados emergentes, Harvard Business Review, 82(2), 54-63 (2004).
- Schimanski, C.P.; G.P. Monizza,; C. Marcher y D. T. Matt, Conceptual foundations for a new lean BIM-based production system in construction, 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019, 877-888 Dublin, Irlanda, 1-7 de Julio (2019).

Shen, C. C., Discussion on key successful factors of TPM in enterprises, doi: 10.1016/j.jart.2015.05.002, Journal of Applied Research and Technology, 13 (3), 425-427 (2015).

Womack, J.P., Jones D. T., & Roos, R. (2017). LA MÁQUINA QUE CAMBIÓ EL MUNDO, Barcelona, España, Profit.

Womack, J.P., & Jones D. T., (2003). LEAN THINKING, Barcelona, España, Gestión 2000.

Zegarra, M., Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados, doi: 10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02, Ciencia y desarrollo, 19(1), 25-37 (2016).